

Departement für Kleintiere, Klinik für Kleintierchirurgie
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

Direktor: Prof. Dr. P.M. Montavon

Arbeit unter Leitung von Dr. Katja Voss

Evaluation des Einflusses morphometrischer Parameter auf die vertikalen Bodenreaktionskräfte im Trab beim Hund

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von

Luca Galeandro

Tierarzt
von Aumont

genehmigt auf Antrag von

Prof. Dr. P.M. Montavon, Referent

Prof. Dr. M. Hässig, Korreferent

Zürich 2007

Zentralstelle der Studentenschaft

Ai miei genitori

INHALTVERZEICHNIS

1.	LITERATURÜBERSICHT	1
1.1.	Übersicht über die Biomechanik	1
1.2.	Grundlagen zur kinetischen Ganguntersuchung	3
1.2.1.	Kraftmessplatten	3
1.2.2.	Bodenreaktionskräfte	4
1.3.	Kinetische Ganguntersuchungen an gesunden Hund	7
1.3.1.	Normale Bodenreaktionskräfte	7
1.3.2.	Die Bodenreaktionskräfte beeinflussenden Faktoren	7
1.4.	Kinetische Ganguntersuchungen am lahmen Hunden	9
2.	FRAGESTELLUNG UND ZIEL DER STUDIE	11
3.	MATERIAL UND METHODEN	12
3.1.	Aufbau der Studie	12
3.2.	Auswahlkriterien	12
3.3.	Klinische Parameter	13
3.4.	Messung der Bodenreaktionskräfte	14
3.4.1.	Ausrüstung	14
3.4.2.	Messbedingungen	15
3.5.	Auswerten der Daten und statistische Tests	16
3.5.1.	Datenerhebung	16
3.5.2.	Auswertung der Daten und statistische Tests	16
4.	RESULTATE	18
4.1.	Beschreibende Statistik	18
4.1.1.	Signalement	18
4.1.2.	Morphometrische Messungen	21
4.1.3.	Vertikale Bodenreaktionskräfte	21
4.1.4.	Impact Peak	22
4.1.5.	Prozentuale Verteilung des Körpergewichtes auf Vorder- und Hinterbeine	22
4.2.	Korrelationen	22
4.2.1.	Abhängigkeit der Variablen untereinander	22
4.2.2.	Abhängigkeit der Bodenreaktionskräfte von einzelnen Variablen	26
4.2.3.	Abhängigkeit der vertikalen Bodenreaktionskräfte mit mehreren Variablen	34
5.	DISKUSSION	36
5.1.	Einleitung	36
5.2.	Einfluss aller Faktoren auf die Bodenreaktionskräfte	37
5.3.	Körpergewicht und Bodenreaktionskräfte	39
5.4.	Rasse und Bodenreaktionskräfte	42
5.5.	Welches sind die wichtigsten Parameter?	43
5.6.	Impact Peak	44
6.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	45
7.	ZUSAMMENFASSUNG	46
8.	SUMMARY	47
9.	ANHANG	48
10.	VERDANKUNGEN	61
11.	LEBENS LAUF	62
12.	LITERATURVERZEICHNIS	64

1. LITERATURÜBERSICHT

Die Bewegung der Menschen und Tiere wird bereits seit 100 Jahren mit Hilfe verschiedener Untersuchungen analysiert [1], um sportliche Performance zu studieren [2, 3] und um eine Hilfe für die Diagnose und Behandlung von orthopädischen Störungen zu haben [4-7].

Die Bewegung ist ein komplexes Phänomen, das in einem dreidimensionalen Raum abläuft. Eine objektive Analyse erfordert hochentwickelte Methoden, die die Sammlung einer grossen Menge an Daten erlauben. Die visuelle Beobachtung des Ganges ist die einfachste Methode, um eine Beschreibung der Bewegung vorzunehmen. Diese Bewegungsanalyse ist aber ungenau und hängt von den Kenntnissen und dem Können des Beobachters ab; sie ist eine subjektive Methode [8]. Zudem kann der Beobachter nicht unendlich viele Daten speichern. Bewegungsabläufe im Millisekundenbereich werden nicht erfasst.

Die ersten technischen Methoden für eine objektive Bewegungsanalyse waren visuelle Hilfsmittel [9-15]. Das Festhalten des Gesehenen mit Hilfe einer Photokamera, eines Schmalfilmaufzeichners, oder einer Videokamera sind Beispiele. Der Schmalfilm wurde wegen des hohen Kostenaufwands, der langen Entwicklungszeit und der zeitaufwendigen Digitalisierung schnell durch nachfolgende Methoden, wie Videokameras, verdrängt. Die Vorteile eines Videos sind der einfache Gebrauch, die sofortige Wiedergabe, die wiederholte Verwendbarkeit der Bänder und die Möglichkeit der Slow-Motion [16, 17]. Da diese visuellen Methoden keine Aussagen über die Gliedmassenbelastung erlauben, wurden weitere Methoden entwickelt, um die Bodenreaktionskräfte zu messen.

Das Forschungsgebiet der Bewegungslehre, die Biomechanik, wird heutzutage mit modernen kinetischen und kinematischen Untersuchungsmethoden betrieben und erlaubt die Untersuchung von Geschwindigkeit, Beschleunigung, Bodenreaktionskräften und Beweglichkeit der Gelenke.

1.1. Übersicht über die Biomechanik

Das Forschungsgebiet der **Biomechanik** besteht aus zwei grossen Gruppen (Abb. 1): der Biostatik und der Biodynamik. Die **Biostatik** beschäftigt sich mit Kraftverhältnissen am ruhenden, die **Biodynamik** am bewegten Körper. Die Biodynamik ist auch bekannt als Kinesiologie. Sie wird in Kinematik und Kinetik unterteilt. Die beiden Methoden können miteinander kombiniert werden und ergeben so ein Maximum an Informationen.

Die **Kinematik** arbeitet mit zeitlichen oder geographischen Eigenschaften der Bewegung ohne Berücksichtigung der Kräfte und der Masse. Sie ist die Wissenschaft, die die Bewegung studiert und

wird benutzt, um die Funktion der Gelenke zu beschreiben. Das Studium der Kinematik wird in zwei Gruppen unterteilt: es gibt optische Systeme (Film, Video, Slow-Motion-Kinematographie, spezielle optoelektrische Systeme, Hochgeschwindigkeitskinematographie) und direkte Messmethoden (Akzelerometrie und Elektrogoniometrie). Die kinematische Analyse erlaubt eine direkte Messung der Position im Zusammenhang mit der Zeit. Sie ermöglicht eine gute Analyse der Bewegung während der Schwungphase des Ganges, ist aber während der Standphase weniger sensitiv.

In der **Kinetik** wird das Verhältnis zwischen Bewegung und Kraft berücksichtigt [18-20]. Die bei der Belastung der Gliedmassen auftretenden Bodenreaktionskräfte werden gemessen. Kraftmessplatten sind die einfachste und kostengünstigste Methode, um Bodenreaktionskräfte objektiv zu messen und können auch im Klinikalltag verwendet werden. Sie erlauben aber nur das Studium abgesetzter Schritte. Zur Messung von aneinanderhängenden Schritten ist ein in ein Laufband integriertes Messsystem nötig. Die kinematische Ganguntersuchung mit Hilfe eines Computers und einer Kraftmessplatte ist die verbreitetste Methode in der Kleintierchirurgie, und wird heutzutage an vielen Universitäts- und privaten Kliniken verwendet.

Die **Kombination** einer Kraftmessplatte mit einem Laufband und dem gleichzeitigen Einsatz einer Videoaufzeichnung ist die idealste, aber auch aufwendigste Methode den Gang zu dokumentieren. Die vertikale Bodenreaktionskräfte, die Bewegung der Gelenke, die Spitzenkräfte von Muskeln, Knochen und Sehnen, die vertikale Verschiebung des Massenzentrums und die Kontaktzeit der Gliedmassen können so ermittelt werden.

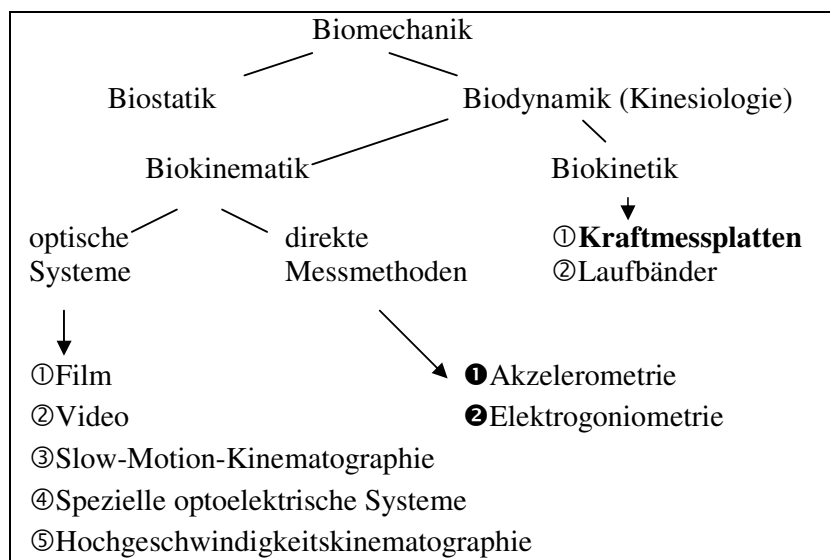


Abb. 1: Die Bestandteile der Biomechanik in einem Diagramm dargestellt.

1.2. Grundlagen zur kinetischen Ganguntersuchung

1.2.1. Kraftmessplatten

Kraftmessplatten wurden bei Menschen, Hunde und Pferde eingesetzt [4, 7, 21-41]. Sie ermöglichen eine objektive, einfache, direkte und nicht-invasive Messung der Bodenreaktionskräfte, die während der Plattenkontaktzeit zwischen Fuss und Platte entstehen. Kraftmessplatten können verschiedene Mechanismen haben, um die Bodenreaktionskräfte zu messen. Die verschiedenen Kraftmessplatten sind:

- *Mechanical spring and pointer force plate*: Dieser mechanische Kraftmessplattentyp funktioniert nur mit sehr grossen Amplituden der Kräfte; sie ist zudem nicht sehr sensitiv.
- *Piezoelectric force plate*: Die Belastung dieser Kraftmessplatte erzeugt eine elektrische Ladung, die bei verschiedenen Materialien eine Formänderung verursacht. Diese Orientierungsänderung der Kristalle (z.B. Quarzkristallen) erlaubt die Messung der drei orthogonalen Bodenreaktionskräfte.
- *Linear variable differential transformer force plate*: Diese Kraftmessplatte wird durch eine Serie von Spiralen gebildet, die ein magnetisches Kernmaterial besitzen. Die Bewegung des Kernes bildet ein elektrisches Signal, das proportional zur applizierten Kraft ist. Die Orientierung des „linear variable differential transformer“ in der Kraftmessplatte erlaubt die Messung der drei Bodenreaktionskräfte.
- *Strain gauge force plate*: Dieser Kraftmessplattentyp funktioniert nach dem Dehnungsmessstreifenprinzip. Das Material, aus dem die Platte gebildet wird, hat die Fähigkeit seinen Widerstand im Verhältnis zur Materialdeformation zu ändern. Die Kraftmessplatten sind mit einem elektrischen Sensor verbunden, der den Widerstand direkt misst. Die Vorteile dieser Kraftmessplatten sind, dass sie sehr sensitiv sind und lange halten.

Ein über eine Kraftmessplatte geführter Hund trifft zuerst mit einem Vorderbein auf die Platte auf, dann mit einem Hinterbein. Die Schritte müssen voneinander abgesetzt sein, um eine gültige Messung zu erhalten. In der Regel werden pro Bein mindestens 5 Messungen gemacht, um einen aussagekräftigen Mittelwert zu erhalten.

1.2.2. Bodenreaktionskräfte

Die mit der Kraftmessplatte gemessenen Bodenreaktionskräfte werden in drei orthogonale Komponenten unterteilt (Abb. 2): die vertikale Kraft (F_z), die kraniokaudale Kraft (F_y) und die mediolaterale Kraft (F_x) [21]. Die Daten werden von der Kraftmessplatte auf einen Computer übertragen und in einer Kraft/Zeit-Grafik dargestellt (Abb. 3). Die ersten Kurvenspitzen in der Graphik stellen die Belastung eines Vorderbeines, die zweiten Kurvenspitzen die Belastung eines Hinterbeines dar.

Die **vertikale Kraft** kommt durch die Belastung der Beine in z-Richtung zustande und wird durch das Körpergewicht und das Abstoßen der Beine verursacht [42, 43]. Die vertikale Kraft hat die grösste Amplitude und die kleinste Variabilität [32] und wird klinisch am häufigsten bei der Identifizierung von Gangabnormalitäten verwendet [27]. Die horizontalen Kräfte (kraniokaudale und mediolaterale Kräfte) sind ungefähr zehn mal kleiner als die vertikale Stärke [43, 44]. Im Schritt ist die Kurvenform zweiphasig (Abb. 4a), im Trab einphasig (Abb. 4b). Die vertikale Bodenreaktionsspitzenkraft der Vorderbeine ist bei gesunden Hunden signifikant grösser als die Bodenreaktionsspitzenkraft der Hinterbeine [4, 21, 36, 44, 45]. Insgesamt wird im Schritt und im Trab 60% der gesamten vertikalen Kraft auf den Vorderbeinen und nur 40% auf den Hinterbeinen getragen [21, 36, 45]. Bei trabenden Hunden [21, 23, 29] und Pferden [46] wird manchmal ein sogenannter *Impact Peak* beobachtet (Abb. 5). Die Bedeutung dieses Phänomen bleibt bis jetzt unklar.

Die **kraniokaudalen Kräfte** werden durch Abbremsung und Beschleunigung verursacht und verlaufen parallel zur Laufrichtung [47, 48]. Die charakteristischen Graphiken der kraniokaudalen Bodenreaktionskräfte haben vier unterschiedliche Kurvenspitzen. Die ersten zwei Kurvenspitzen gehören zum Vorderbein, die letzten zwei zum Hinterbein. Die erste und die dritte Kurvenspitze sind negativ und stellen die Bremsphase dar. Die zweite und die vierte Kurvenspitze sind positiv gerichtet und stellen die Beschleunigungsphase dar (Abb. 3 und Abb. 4).

Die **mediolateralen Kräfte** entstehen durch seitliche und rotatorische Bewegung der Beine und die Unausgeglichheiten des Körpers. Sie zeigen die grösste Variabilität [49, 50], sind wenig reproduzierbar [4] und haben die kleinste Amplitude der drei orthogonalen Kräften [21]. Die mediolateralen Kräfte haben folgenderweise eine geringe Bedeutung für die Lahmheitsuntersuchung [18, 20, 42]. Am häufigsten sieht man zwei Kurvenspitzen; die grössere erste Spitze repräsentiert die Vorderbeinstärke, die kleinere zweite Spitze die Hinterbeinstärke. Auf der rechten Seite sind diese Kurven positiv gerichtet, auf der linken Seite negativ (Abb. 3 und Abb. 4).

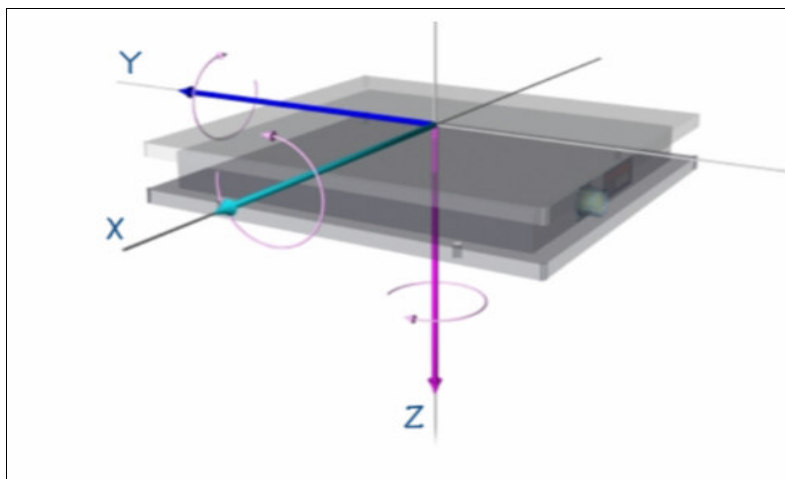


Abb. 2: Kraftmessplatte (Quelle: www.amti.biz). Die Richtung der mit einer Kraftmessplatte gemessenen Bodenreaktionskräfte ist dargestellt. Z stellt die vertikale Bodenreaktionsspitzenkraft, X die mediolaterale und Y die kraniokaudale Kraft dar.

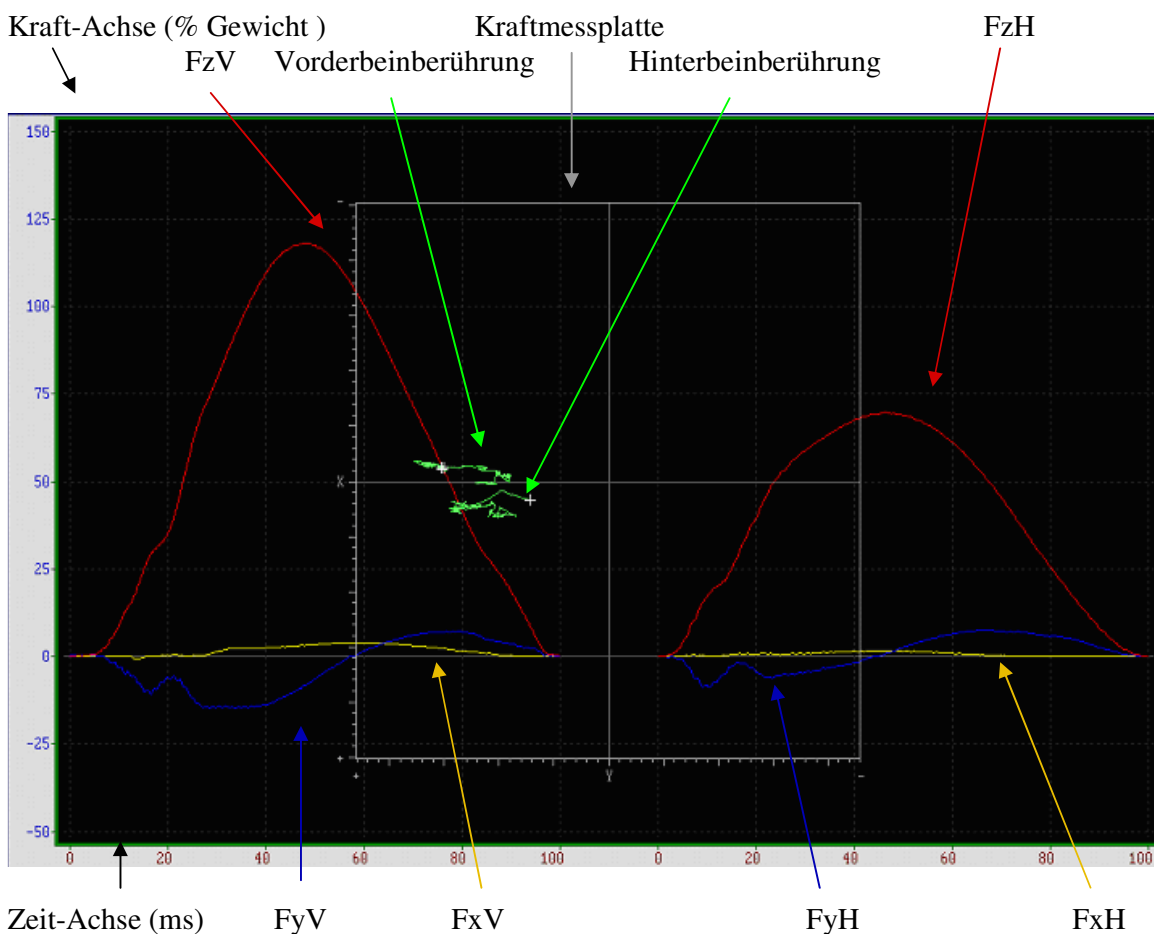


Abb. 3: Beispiel einer Computeraufzeichnung aller drei Bodenreaktionskraftkurven, gemessen im Trab. Die vertikale Spitzenkraft der Vordergliedmassen ist bei einem normalen Hund deutlich grösser als die vertikale Spitzenkraft der Hinterbeine. Rot: vertikale Bodenreaktionskraft (F_z Vorderbeine (F_{zV}), F_z Hinterbeine (F_{zH})), gelb: mediolaterale Bodenreaktionskraft (F_x Vorderbeine (F_{xV})), F_x Hinterbeine (F_{xH}); blau: kraniokaudale Bodenreaktionskraft (F_y Vorderbeine (F_{yV}), F_y Hinterbeine (F_{yH})).

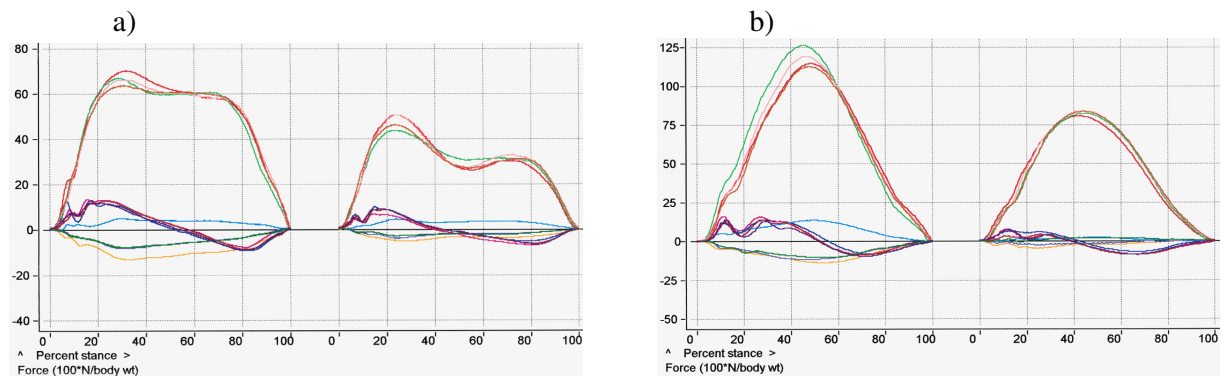


Abb. 4: Die drei orthogonalen Kräfte bei Belastung einer Pfote, gemessen im Schritt und Trab. Die linken Kurven widerspiegeln die Kräfteverhältnisse der Vordergliedmassen, die rechten Kurven diejenigen der Hintergliedmassen. a) Messung im Schritt. Die Kurven sind zweiphasig. b) Messung im Trab. Die Kurven sind eiphasig.

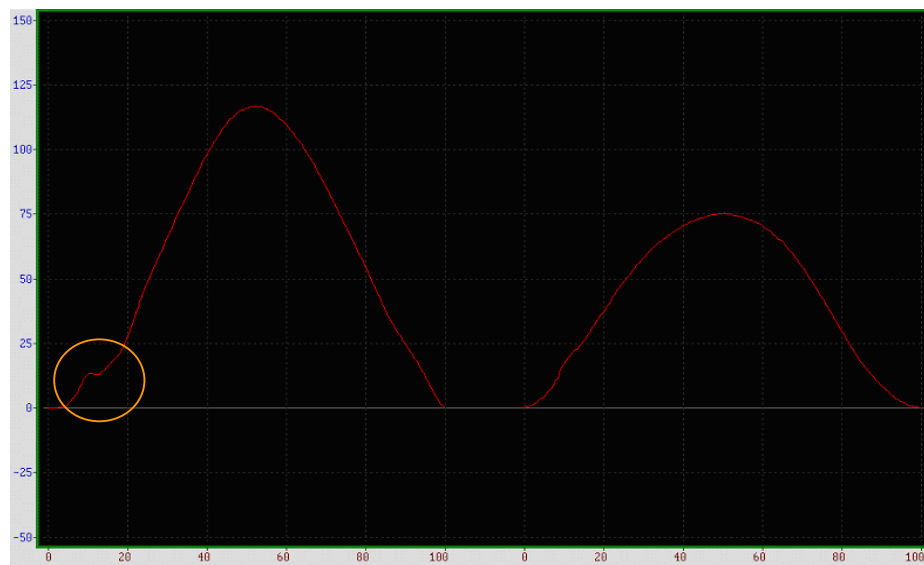


Abb. 5: Beispiel einer vertikalen Bodenreaktionskraftgrafik mit einem *Impact Peak* im Bereich des rechten Vorderbeins (oranger Kreis).

Die Amplitude der vertikalen Kraftkurve, das heisst die maximale Kraft (F_z), und die Fläche unter der Kurve, der vertikale Impuls (I_z), sind die in klinischen Studien am häufigsten verwendeten Daten. Der Impuls ist eine vektorielle Grösse, deren Richtung parallel zur Geschwindigkeit zeigt. Er beschreibt die Wucht eines Körpers, der sich in Bewegung befindet und stellt die Kraft, die in einem bestimmten Zeitintervall ausgeübt wird dar. Die Steigung und der Abfall der Kurven und die Plattenkontaktzeit sind andere verwendbare Untersuchungsvariablen.

Die Bodenreaktionskräfte werden normalerweise auf das Körpergewicht normiert [7, 18, 20, 21, 23, 30, 33-35, 42, 51, 52], um Tiere verschiedener Grösse vergleichen zu können. Kräfte werden in Prozent des Körpergewichtes (% KG) oder in N/Kg, der Impuls in % KG x s oder in N/Kg x s angegeben.

1.3. Kinetische Ganguntersuchungen an gesunden Hund

Kraftmessplatten wurden in mehreren Studien an gesunden Hunden angewendet. Das Ziel dieser Studien war die Beschreibung der normalen Kraftkurven, und die Ermittlung von Einflüssen der Messbedingungen. Manche Studien wurden mit Hundepopulationen verschiedener Rassen durchgeführt [21, 53-55], andere Studien haben nur eine einzige Rasse, Greyhounds [22, 56-59], oder verschiedene Rassen mit gleicher Morphologie untersucht [60, 61]. Klinisch gesunde Hunde wurden im Schritt [21, 43, 56, 60], im Trab [3, 22, 23, 36, 53, 57, 58, 61-63] und beim Sprung [25, 55] über die Kraftmessplatten geleitet.

1.3.1. Normale Bodenreaktionskräfte

Die in den verschiedenen Studien gemessenen Bodenreaktionskräfte zeigen eine relativ weite Spannbreite. Die FzV (% KGW) variiert in der Literatur bei im Schritt geführten Hunden zwischen 59.3 und 63.2, die FzH (% KGW) zwischen 44.8 und 49.8, der IzV (% KGW/s) zwischen 21.8 und 25.2 und der IzH (% KGW x s) zwischen 15.1 und 17.2. Bei trabenden Hunden variiert die FzV (% KGW) zwischen 106.68 und 131.31, die FzH (% KGW) zwischen 65.11 und 104.80, der IzV (% KGW x s) zwischen 14.2 und 17.2 und der IzH (% KGW x s) zwischen 9.33 und 11.1. [23, 47, 56, 58].

1.3.2. Die Bodenreaktionskräfte beeinflussenden Faktoren

Die gemessenen Bodenreaktionskräfte unterliegen wie oben beschrieben auch bei gesunden Hunden einer gewissen Variabilität, die durch verschiedene Faktoren verursacht werden [3, 21-23, 36, 43, 53, 56-58, 60-63]. Die Einflüsse dieser Faktoren auf die vertikalen Bodenreaktionskräfte Fz und Iz sind im Folgenden und in Tabelle 1 zusammengefasst.

Körpergewicht

Obwohl die gemessenen Daten auf das Körpergewicht des Hundes normiert werden, beeinflusst das Körpergewicht viele Daten signifikant. Das Gewicht der Tiere ist negativ mit Fz korreliert; schwerere Hunde üben im Vergleich zu leichteren Hunden eine kleinere Fz aus [21]. Das Gewicht der Tiere beeinflusst auch den Iz signifikant. Je höher das Gewicht der Tieren, desto grösser ist Iz [21]. Der Einfluss des Gewichtes wurde bis jetzt vor allem in der Gangart Schritt beschrieben [21]. Es sollten deswegen nur Hunde mit ähnlichem Körpergewicht miteinander verglichen werden. Ab welchen Gewichtsunterschieden signifikante Unterschiede in den Bodenreaktionskräften entstehen, ist nicht bekannt.

Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit mit welcher der Hund über die Kraftmessplatte geführt wird, beeinflusst Fz und Iz signifikant [16, 21-23, 33, 56, 58, 64]. Je höher die Geschwindigkeit, desto höher Fz und desto kleiner Iz [21-23, 56, 58, 64]. Signifikante Einflüsse auf Fz und Iz wurden bei trabenden Hunden bereits ab einer Änderung der Geschwindigkeit von 0.3 m/s gefunden [23, 58]. Um Einflüsse der Geschwindigkeit auf die gemessenen Daten auszuschliessen, sollten demnach nur Messungen verwendet werden, wo die Geschwindigkeit nicht mehr als 0.3 m/s von der gewählten Geschwindigkeit variiert.

Beschleunigung

Die Beschleunigung oder Abbremsung des Hundes während eines Durchlaufs beeinflusst Fz und Iz. Die Fz der Hinterbeine ändert sich ab einer Beschleunigung von -0.4 zu $+0.4 \text{ m/s}^2$ [47] signifikant. Sie wird grösser bei einer positiven Beschleunigung. Der Iz der Hinterbeine und die Fz und der Iz der Vorderbeine werden durch Änderungen der Beschleunigung bis $\pm 0.7 \text{ m/s}^2$ nicht signifikant beeinflusst [47]. Um Einflüsse der Beschleunigung auf die gemessenen Daten auszuschliessen, sollten demnach nur Messungen verwendet werden, wo die Beschleunigung innerhalb von $\pm 0.4 \text{ m/s}^2$ liegt.

Messbedingungen

Die Länge der gelaufenen Strecke vor und nach der Kraftmessplatte und die Bodenbeschaffenheit können ebenso zu Variationen in den Messdaten führen [23]. Ein zu kurzer Anlauf- oder Abbremsweg führt zu Änderungen in der Beschleunigung und Abbremsung. Der Boden sollte aus rutschfestem Material bestehen. Auch die Probewiederholung und der Tageswechsel können die Werte der Bodenreaktionskräfte [33, 65, 66] signifikant beeinflussen. So zeigten zum Beispiel in einer Studie 46%, bzw. 25% der Hunde bei Tageswechsel einen signifikanten Unterschied in der Fz, bzw. den Iz [66]. Kleinste Trauma, Wetter, Tageszeit und geringer Stress haben wahrscheinlich diese tagesabhängigen Schwankungen verursacht [66]. Auch ein Wechsel des Hundeführers hat einen geringen Einfluss auf die gemessenen Bodenreaktionskräfte. Die Variation, die durch den Hundeleiter verursacht wird, variiert zwischen 0 und 7% [33].

Selektion und Gewöhnung der Hunde an die Messsituation haben auch messbare Effekte auf die vertikalen Bodenreaktionskraftswerte. Die Hinterbein-Plattenkontaktzeit und der Iz sind bei trainierten Hunden signifikant geringer. Die Fz und der Iz haben zudem bei trainierten Hunden eine kleinere Variation [18].

Physiologische Asymmetrie

Kein Hund hat eine perfekte links-rechts Symmetrie zwischen den Beinpaaren [28]. Diese physiologische Ungleichmässigkeiten in der Belastung von Gliedmassenpaaren beträgt 3% bis 8.5% bei orthopädisch gesunden Hunden [18, 51]. Die Berechnung eines Symmetrieindex (SI) zwischen den paarigen Gliedmassen erlaubt die Quantifizierung der physiologischen Seitenunterschiede und kann zur Unterscheidung von normalen zu lahmen Hunden verwendet werden. Die Berechnung des SI zwischen Gliedmassenpaaren hat den Vorteil, dass die Funktion eines Beines mit derjenigen des anderen Beines desselben Hundes, und nicht mit einer anderen Hundepopulation verglichen wird.

Faktoren	Ideale Messbedingungen	Referenz
Geschwindigkeit	< 0.3 – 0.6 m/s Differenz	[23]
Beschleunigung/Abbremsung	$\pm 0.4 \text{ m/s}^2$ Differenz	[47]
Gewöhnung	möglichst lang	[66]
Hundeleiter	immer der gleiche	[33]
Messsituation	rutschfester Boden, Laufbahn mindestens 8 m, Lichtschranken durch Hund ausgelöst	[23]
Tageswechsel	schwierig zu beeinflussen	[66]

Tab. 1: Faktoren, die die Kraftmessplattenanalyse beeinflussen können.

1.4. Kinetische Ganguntersuchungen am lahmen Hunden

Verschiedene Studien haben die Sensitivität und Spezifität der Kraftmessplattenmessungen im Vergleich von klinischen Ganguntersuchung evaluiert. Eine Studie beschreibt eine Sensitivität von 93 % für die Messung in der Gangart Schritt, einen mittelgradig lahmen Hund zu erkennen [67]. Die Sensitivität und Spezifität ist aber natürlich abhängig vom Lahmheitsgrad und wird kleiner, je weniger ausgeprägt die Lahmheit ist. Leichtgradige Lahmheiten können im Trab besser nachgewiesen werden als im Schritt [41].

Die Kraftmessplatte wurde in verschiedenen Arbeiten als ein Mittel für die Evaluation von orthopädisch lahmen Hunden angewendet [41, 63]. Lahmheiten verursachen eine Redistribution der Kräfte auf die anderen Beine [24]. Diese Redistribution wurde bei Hunden mit Arthritis [24, 32, 36], und nach verschiedenen chirurgischen Behandlungen [4, 7, 25, 30, 31, 34-36, 68-72] evaluiert, wobei keine einheitlichen Daten gefunden wurden. Weitere Studien an lahmen Hunden wurden durchgeführt, um den Therapieerfolg verschiedener Behandlungen und Operationen von häufigen orthopädischen Problemen objektiv zu evaluieren. Diese Beinhalten die Behandlung von der Osteochondrose des

Schultergelenkes [48, 73], des fragmentierten Processus coronoideus im Ellbogengelenk [74], der Hüftgelenkdysplasie [4, 25, 30, 35, 75, 76] und des Kreuzbandrisses [7, 24, 34, 36, 40, 77-79].

2. FRAGESTELLUNG UND ZIEL DER STUDIE

Kraftmessplatten werden in der Kleintierorthopädie heutzutage weltweit eingesetzt, um den Therapieerfolg von unterschiedlichen Behandlungsmethoden orthopädischer Probleme zu evaluieren und zu dokumentieren. Dies würde theoretisch einen objektiven Vergleich zwischen verschiedenen Operationsmethoden erlauben. Der Vergleich von Daten verschiedener Kraftmessplattenstudien ist allerdings häufig problematisch. Unterschiedliche Messbedingungen und Verwendung von unterschiedlichen Hunderassen und Hunden unterschiedlichen Gewichtes verursachen eine Variabilität der Resultate, welche einen direkten Vergleich verunmöglicht [20-22, 29, 56, 57, 60, 80].

Einflüsse, wie die Messbedingungen, können relativ einfach reguliert werden, was auch in den meisten Studien berücksichtigt wird. Im Gegensatz dazu ist es in klinischen Studien schwierig, nur Hunde mit demselben Gewicht und ähnlicher Morphologie zu verwenden. Der Einfluss des Körpergewichtes, der Hunderasse und morphometrischer Parameter auf die Bodenreaktionskräfte wurde bislang nicht anhand einer grossen Hundepopulation ermittelt. So ist es zum Beispiel fraglich, ob die gemessenen Bodenreaktionskräfte einer Studie, wo Mischlingshunde mit einem durchschnittlichen Gewicht von 20 kg KG mit denjenigen einer anderen Studie mit 50 kg schweren Windhunden verglichen werden können.

Das Ziel der vorliegenden Studie war die Ermittlung von Normalwerten für unterschiedliche Gewichtsklassen von Hunden, und die Evaluation des Einflusses des Körpergewichtes, der Rasse, des Geschlechtes und verschiedener morphometrischer Parameter, wie z.B. der Beinlänge, auf die Bodenreaktionskräfte Fz und Iz. Folgende Fragen wurden versucht zu beantworten:

1. Haben neben dem Gewicht und der Rassezugehörigkeit auch andere Faktoren, wie Alter, Geschlecht, Widerristhöhe, Beckenhöhe, Tierlänge und Body Mass Index (BMI) einen Einfluss auf die Bodenreaktionskräfte?
2. Wie gross ist der Einfluss des Gewichtes auf die Bodenreaktionskräfte? Ab welchem Gewichtsunterschied gibt es signifikante Unterschiede in den Bodenreaktionskräften?
3. Wie gross ist der Einfluss der Rasse auf die Bodenreaktionskräfte? Gibt es Rassen, die signifikant andere Bodenreaktionskräfte aufweisen als andere Rassen?
4. Herstellung einer Datenbank für orthopädisch gesunde Hunde, die erlaubt, orthopädisch gesunde von lahmen Tieren mit einer gewissen Sicherheit zu unterscheiden.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1. Aufbau der Studie

Die Studie wurde mit 129 gesunden, lahmheitsfreien Hunden verschiedener Gewichtsklassen, Rassen, Alter und Geschlecht durchgeführt. Die Messung der Bodenreaktionskräfte wurde bei definierter Geschwindigkeit (1.85 – 2.15 m/s) und Beschleunigung ($< \pm 0.3 \text{ m/s}^2$) im Trab vorgenommen. Verschiedene morphometrische Parameter wurden evaluiert und ihr Einfluss auf die Bodenreaktionskräfte statistisch bestimmt. Der Untersuchungsablauf ist in Abb. 6 zusammengefasst.

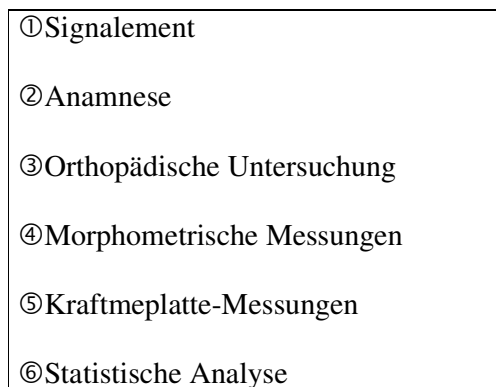


Abb. 6: Untersuchungsablauf der 129 klinisch gesunden Hunde.

3.2. Auswahlkriterien

Mittel- und grossrassige orthopädisch gesunde Hunde verschiedener Rassen wurden für die Studie verwendet. Die Tiere wurden von Mitarbeitern des Tierspitals, Freunden und Rasseclubs zur Verfügung gestellt. Es wurde versucht, die Hunde so auszuwählen, dass eine gleichmässige Verteilung der verschiedenen Gewichtsklassen möglich war.

Es wurden nur Hunde in die Studie eingeschlossen, die anamnestisch und anhand einer vollständigen klinischen orthopädischen Untersuchung keine Anzeichen einer orthopädischen Erkrankung aufwiesen. Als zusätzliche Sicherheit wurde für jeden Hund ein SI zwischen den Gliedmassenpaaren berechnet, der aufgrund von Daten einer früheren Studie 8.5 nicht überschreiten durfte, damit der Hund als lahmheitsfrei galt [18].

3.3. Klinische Parameter

Alter, Geschlecht, Rasse und Körpergewicht wurden erhoben und tabellarisch festgehalten. Jeder Hund wurde einer vollständigen klinischen orthopädischen Untersuchung unterzogen, welche die Adspektion, Ganguntersuchung, Palpation und Manipulation der Gliedmassen und Wirbelsäule beinhaltete. Die Hunde wurden im Schritt und im Trab von vorne, von hinten und von der Seite gefilmt, um die Tiere später kontrollieren zu können. Der Sitztest wurde auch evaluiert und gefilmt.

Jedem Hund wurden verschiedene morphometrische Messungen entnommen (Abb. 7): die Widerristhöhe (Abstand zwischen Boden und Processus spinosus des 6. oder 7. Brustwirbels), die Beckenhöhe (Abstand zwischen Boden und Crista iliaca) und die Tierlänge (Abstand zwischen Manubrium sterni und Tuber ischiadicus). Für diese Messungen wurde ein Kornmass (Abb. 8) benutzt. Dieses Gerät besitzt einen gleitenden Arm, der auf einem fixierten perpendikulären Arm rutscht und genaue Messungen bis 87 cm mit einem Fehler von ± 0.1 mm bestimmen kann. Die Differenz zwischen Widerrist- und Beckenhöhe wurde auch berechnet.

Zusätzlich wurde der BMI jedes Hundes berechnet. Hierfür wurde die Formel des BMI's für Menschen ($\text{BMI} = \text{Körpergewicht (kg)} / \text{Höhe}^2 (\text{m}^2)$) den Hunden adaptiert. Anstelle der Körperhöhe im Quadrat wurde die Widerristhöhe mit der Beckenhöhe multipliziert.

$$\text{BMI} = \text{Körpergewicht (kg)} / (\text{Widerristhöhe (m)} \times \text{Beckenhöhe (m)})$$

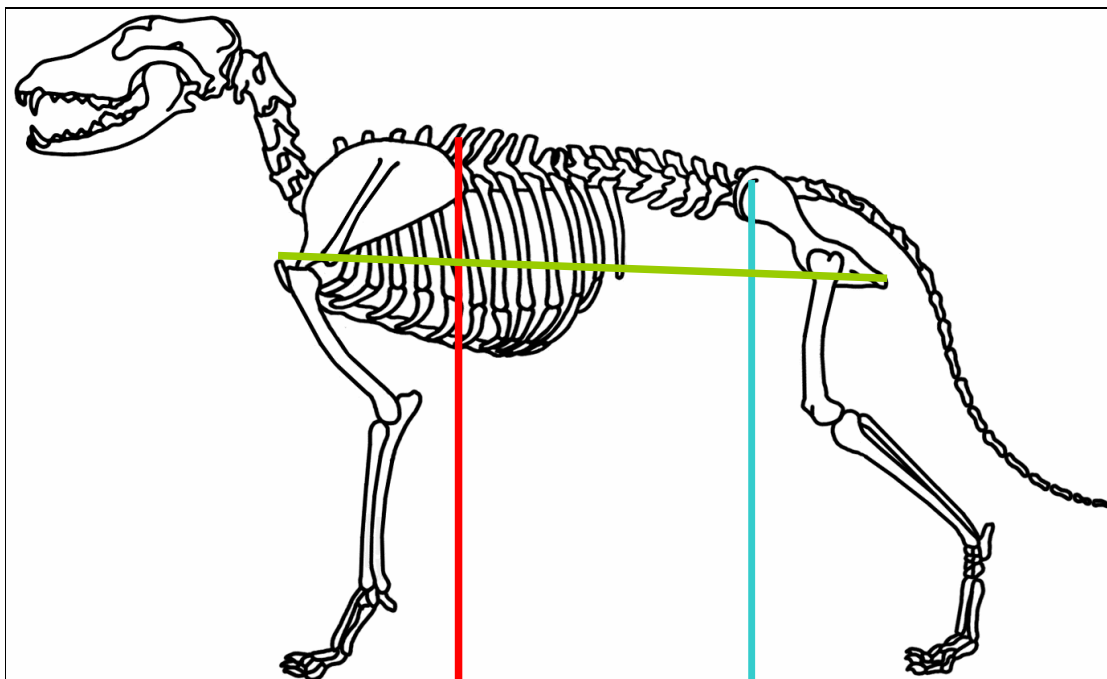


Abb. 7: Skelett eines Hundes mit den verschiedenen morphometrische Messungen. Rot: Widerristhöhe; blau: Beckenhöhe; grün: Tierlänge.

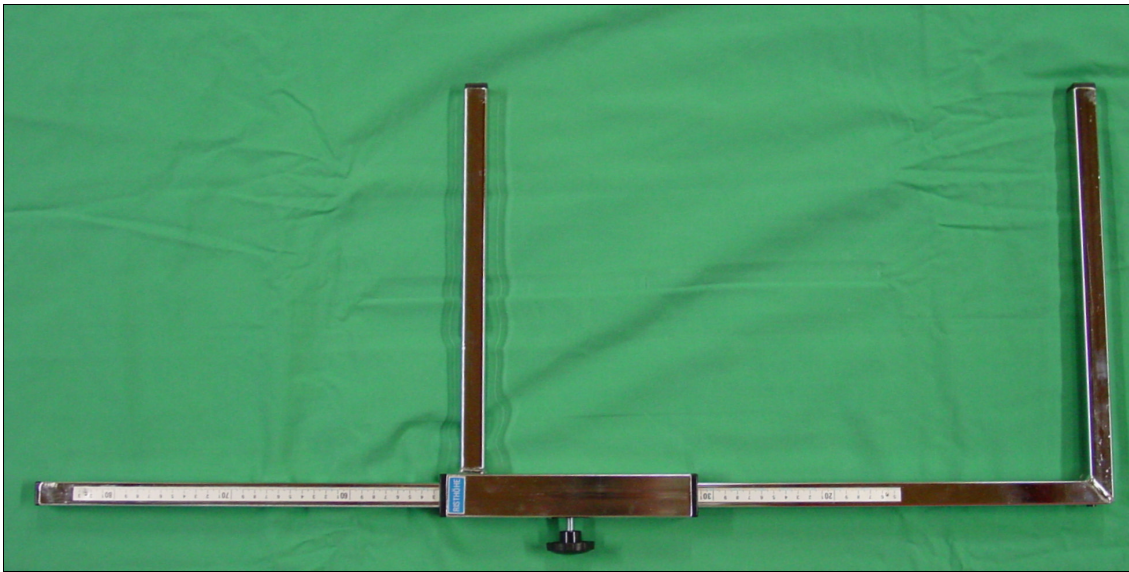


Abb. 8: Kornmass. Dieses Gerät besitzt einen gleitenden Arm, der auf einem dazu senkrechten fixierten Arm rutscht und genaue Messungen bis 87 cm erlaubt.

3.4. Messung der Bodenreaktionskräfte

3.4.1. Ausrüstung

Die kinetische Ganganalyse wurde mit einer Kraftmessplatte (OR6-7 von AMTI (Advanced Medical Technologies Inc.), Watertown, MA 02472USA) durchgeführt. Diese Kraftmessplatte funktioniert nach dem Dehnungsmessstreifenprinzip. Die Kraftmessplatte war 51 cm lang und 47 cm breit, und war ebenerdig in der Mitte eines 8.0 m langen Gangs positioniert.

Drei photoelektrische Rezeptoren (Abb. 9), die in einem Abstand von 1.5 m positioniert wurden, dienten der Messung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung. Sobald der erste Rezeptor durch einen Hund aktiviert wurde, begann das Messsystem die Zeit zu messen. Beim Durchgang durch den dritten Rezeptor wurde die Messung gestoppt. Anhand der Zeit und der Distanz konnte die Geschwindigkeit, die Beschleunigung und die Abbremsung bei jedem Durchgang gemessen werden.

Die Kraftmessplatte und die drei Einheiten für die Messung der Geschwindigkeit wurden über ein Software-System miteinander verbunden. Die durch die Kraftmessplatte gewonnenen Daten wurden durch ein spezialisiertes Programm (Acquire 7.3 Sharon Software) gespeichert und auf dem Computerbildschirm dargestellt.



Abb. 9: GanganalySELabor der Universität Zürich. Der Hund befindet sich mit seinem Besitzer in der Startposition (blau dargestellt). Grün sind die drei Rezeptoren für die Messung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung dargestellt. Gelb: die Kraftmessplatte.

3.4.2. Messbedingungen

Die Hunde liefen vor Beginn der Kraftmessplatteanalyse im Labor frei herum, bis sie mit der Umgebung vertraut geworden waren. Alle Hundeführer wurden auf die gleiche Art und Weise über das Vorgehen bei der kinetische Analyse instruiert. Die Hunde wurden durch ihre Besitzer im Trab über die Kraftmessplatte geführt. Die Tiere konnten den Gang in beide Richtungen durchlaufen und wurden zwischen zwei rot markierten Linien an der Leine geführt.

Pro Bein wurden mindestens fünf gültige Durchgänge mit einer Geschwindigkeit zwischen 1.85 m/s und 2.15 m/s und einer Beschleunigung kleiner als $\pm 0.3 \text{ m/s}^2$ gemessen. Messungen mit einem unregelmässigen Gang, z.B. durch Drehen des Kopfes verursacht, wurden verworfen. Die orthogonalen Bodenreaktionskräfte würden für jede gültige Probe gespeichert.

3.5. Auswerten der Daten und statistische Tests

3.5.1. Datenerhebung

Für die spätere statistische Auswertung wurden Gruppen gebildet. Rassegruppen wurden gebildet wenn mindestens drei Hunde der gleichen Rasse vertreten waren. Einzelne Hunde verschiedener Rassen wurden in eine separate Gruppe eingeteilt.

Die Hunde wurden zudem in zehn Gewichtskategoriegruppen (GKG) unterteilt. Die erste Gruppe enthielt Hunde, die weniger als 20 kg wogen; Gruppe 2 enthielt Hunde, die zwischen 20 und 25 kg wogen, Gruppe 3, 25-30 kg; Gruppe 4, 30-35 kg; Gruppe 5, 35-40 kg; Gruppe 6, 40-45 kg; Gruppe 7, 45-50 kg; Gruppe 8, 50-55 kg; Gruppe 9, 55-60 kg; Gruppe 10 enthielt Hunde, die mehr als 60 kg wogen.

Die vertikale Kraft der Vorderbeine (FzV), die vertikale Kraft der Hinterbeine (FzH), der vertikale Impuls der Vorderbeine (IzV) und der vertikale Impuls der Hinterbeine (IzH) wurden für alle Hunde aufgezeichnet. Die vertikale Kraft wurde jeweils in Prozent des Körpergewichtes (% KGW) angegeben, der vertikale Impuls in Prozent des Körpergewichtes mal Sekunde (% KGW x s).

Die FzV und die FzH wurden gebraucht, um die prozentuale Verteilung des Körpergewichtes auf Vorder- und Hinterbeine für die verschiedenen Rassengruppen und Geschlechtskategorien zu berechnen:

Bodenreaktionsspitzenkraft eines Beines / Total der vier Beine x 100

Zusätzlich wurde kontrolliert, welche der 129 Hunde einen Impact Peak in der Vorderbein- oder Hinterbeinkurve zeigten. Kurven mit einem Peak wurden mit eins kodiert und Kurven ohne Peak mit null.

3.5.2. Auswertung der Daten und statistische Tests

Zum Vergleich von kontinuierlichen Daten wurde die Regressionsanalyse verwendet. Die Regressionsgerade wurde gemessen. Es wurde die Steigung (a), der p-Wert (p) und der Korrelationskoeffizient (R^2) angegeben.

Kategorische Daten wurden mittels des Chi-Quadrat Testes ausgewertet.

Der Vergleich von kategorischen mit kontinuierlichen Daten wurde mittels Varianzanalyse ausgewertet.

Der Post-Hoc (Bonferroni/Dunn) Test wurde angewandt, um den Einfluss der einzelnen Rassegruppen und der Geschlechtergruppen auf die Bodenreaktionskräfte zu ermitteln.

Die Formeln der multiplen linearen Regression der vier gemessenen vertikalen Bodenreaktionskräfte wurden anhand der schrittweisen rückwärts Elimination mit dem Eliminationskriterium des höchsten nicht signifikanten P-Wert, berechnet.

Es wurde jeweils der Standardfehler angegeben. P-Werte < 0.05 wurden als signifikant betrachtet. Das Programm Stat View 5.1 (SAS Institute) diente der statistischen Analyse der Daten. Die Korrelationen wurden mittels "v to z"-Test auf Signifikanz getestet.

4. RESULTATE

4.1. Beschreibende Statistik

4.1.1. Signalement

Das **Alter** der Hunde schwankte zwischen vier Monaten und 13 Jahren. Der Mittelwert betrug 4.07 ± 0.25 Jahre. Die Altersverteilung ist in Abb. 10 dargestellt.

Geschlecht: 53 männliche und 76 weibliche Tiere wurden untersucht. Vierundvierzig Hunde waren kastriert, davon 13 männliche und 31 weibliche. Die Geschlechtsverteilung ist in Abb. 11 dargestellt.

Das **Gewicht** der Tiere schwankte zwischen 13.4 und 78 kg, der Mittelwert betrug 39.6 ± 1.27 kg. Die männlichen Tiere wogen 42.84 ± 1.87 kg (19.9 – 72 kg), die weiblichen 37.35 kg ± 1.68 (13.4 – 78 kg). Gewichtsgruppe 1 enthielt 10 Hunde; Gruppe 2, 12 Hunde; Gruppe 3, 14 Hunde; Gruppe 4, 17 Hunde; Gruppe 5, 16 Hunde; Gruppe 6, 17 Hunde; Gruppe 7, 11 Hunde; Gruppe 8, 9 Hunde; Gruppe 9, 11 Hunde; Gruppe 10, 12 Hunde (Abb. 12).

Insgesamt wurden 31 verschiedene **Hunderassen** untersucht, aus denen 20 Rassegruppen gebildet wurden (Abb. 13). Die Gruppe „andere Rassen“ bestand aus zwei Gordon Settern, zwei English Springer Spaniels, und je einem Dobermann, Deutschen Pinscher, Collie, Australian Shepherd, Boxer, Berger Blanc Suisse, und Irischen Greyhound.

Eine Zusammenfassung aller Daten ist im Anhang 1 dargestellt.

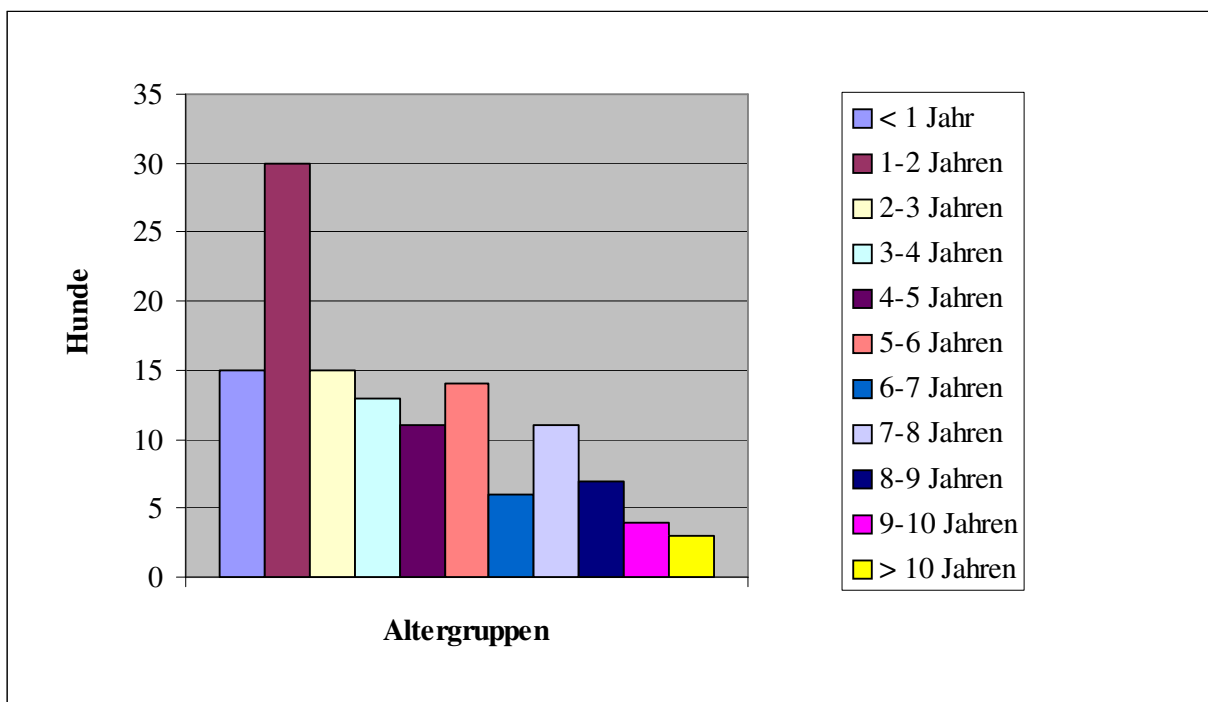


Abb. 10: Altersverteilung. Mehr als 75 % der Tiere waren jünger als 6 Jahre.

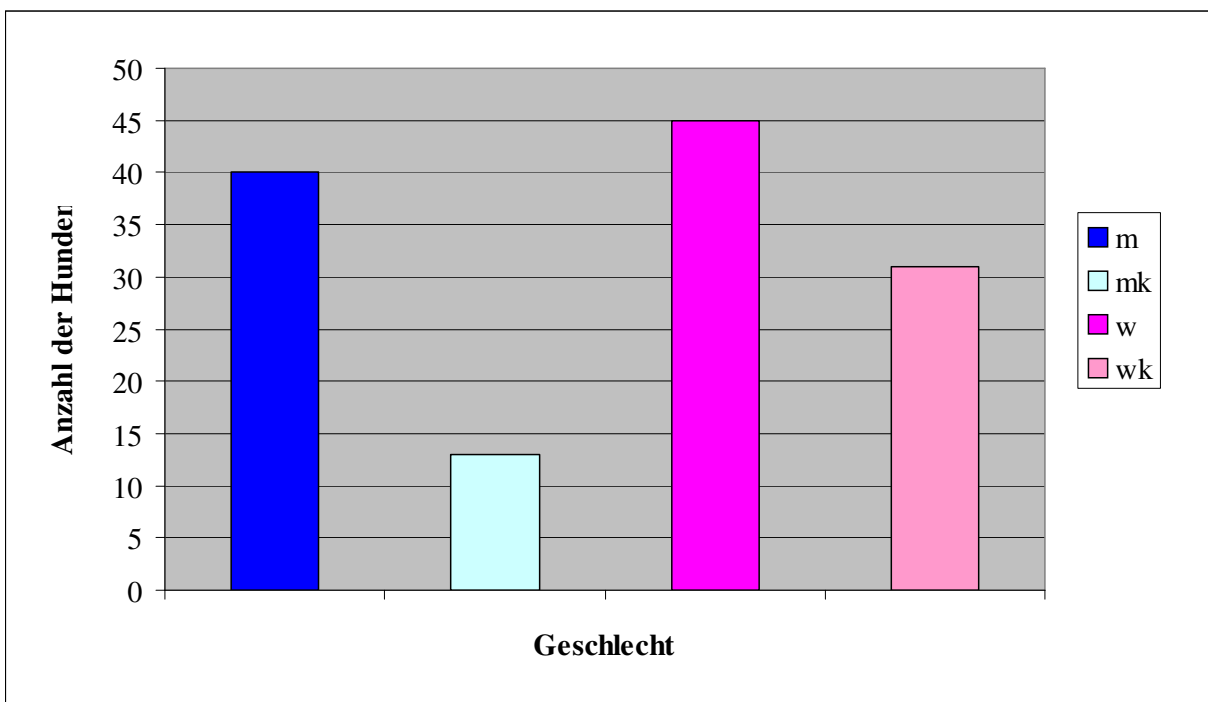


Abb. 11: Geschlechtsverteilung. 53 männliche und 76 weibliche Tiere wurden untersucht. 85 Hunde waren kastriert (davon 13 männliche und 31 weibliche).

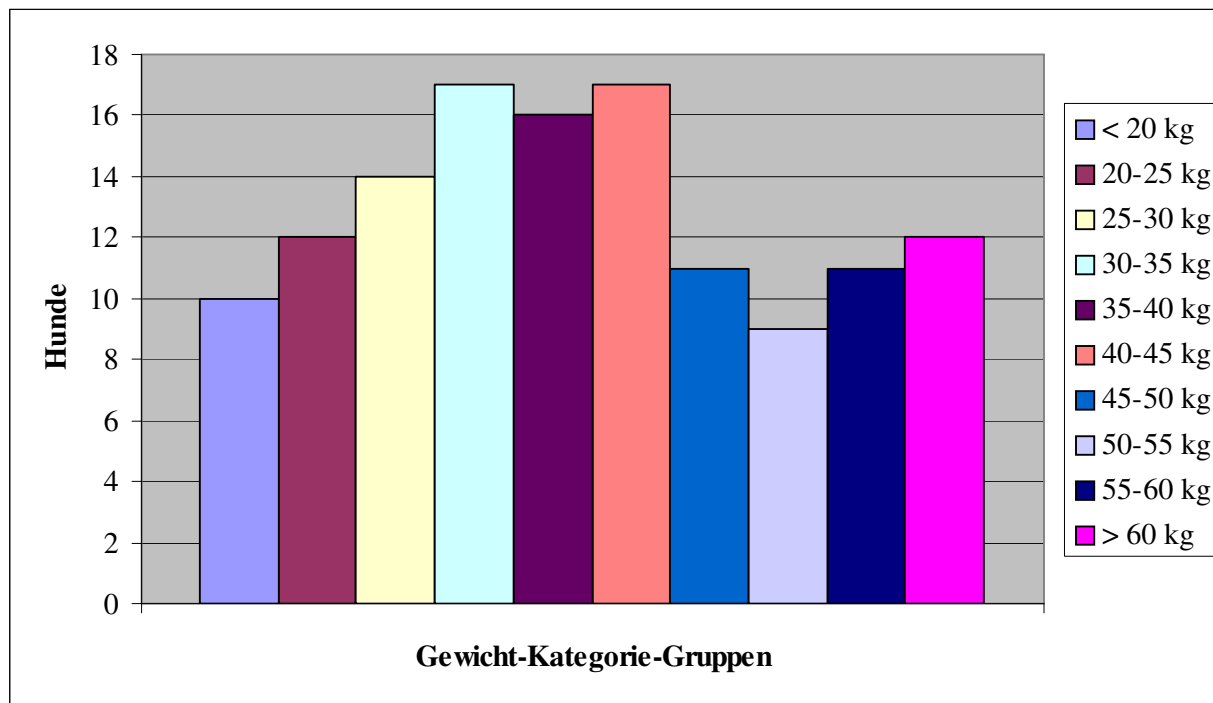


Abb. 12: Prozentuale Gewichtsverteilung in den verschiedenen Gewichtsgruppen. Das Gewicht der Tiere schwankte zwischen 13.4 und 78 kg. Es wurde versucht eine gleichmässige Verteilung des Gewichtes zu erreichen.

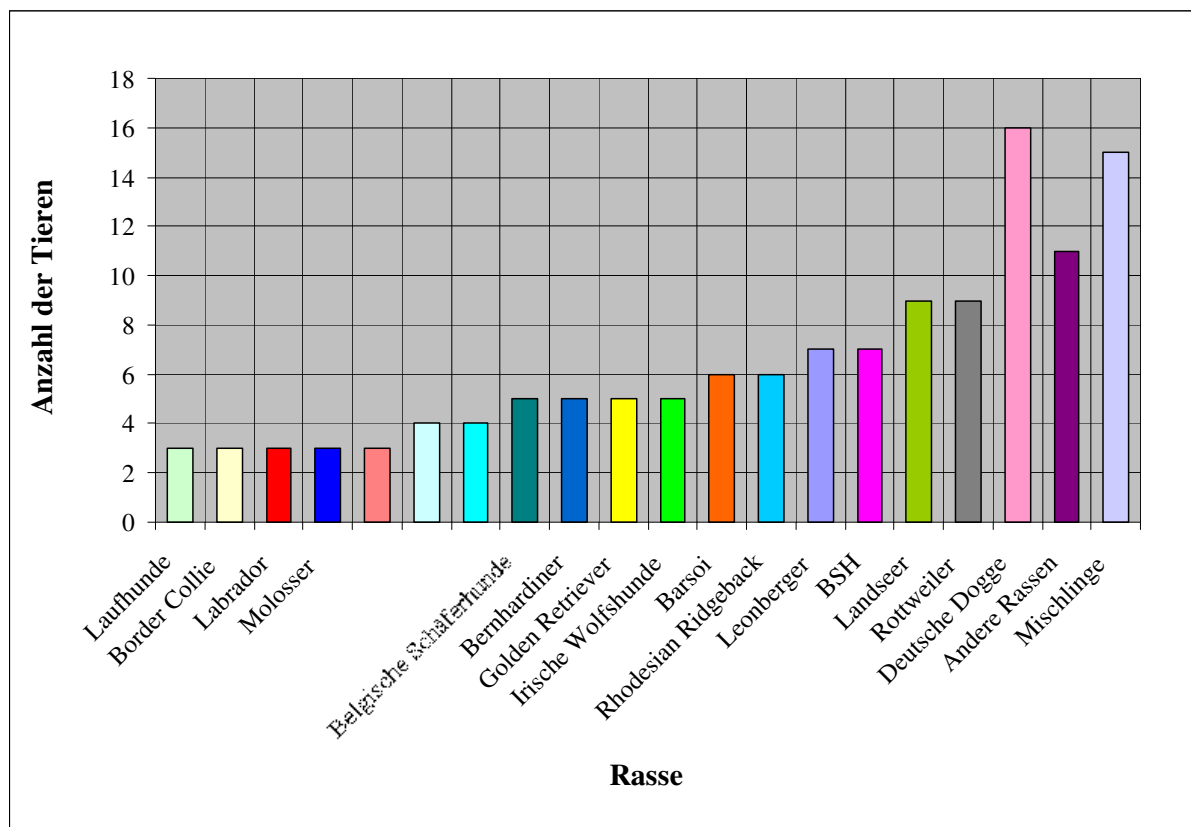


Abb. 13: Rassenverteilung. 31 verschiedene Rassen wurden untersucht und 18 Rassengruppen wurden gebildet. Eine Rassengruppe wurde gebildet, wenn mindestens drei Tiere der gleichen Rasse vorhanden waren.

4.1.2. Morphometrische Messungen

Die **Widerristhöhe** lag zwischen 41.7 cm und 87.0 cm, im Mittel 65.48 ± 0.84 cm. Die **Beckenhöhe** schwankte zwischen 42.1 und 87.0 cm, der Mittelwert betrug 64.96 ± 0.84 cm. Die **Tierlänge** lag zwischen 40.6 cm und 88.1 cm, im Mittel 68.66 ± 0.84 cm. Der **BMI** der Hunde schwankte zwischen 50.88 und 162.29 kg/m^2 . Der Mittelwert betrug 90.18 ± 1.60 . Die Widerristhöhe, die Beckenhöhe, die Tierlänge und der BMI sind in Abb. 14 graphisch und in Anhang 2 tabellarisch dargestellt.

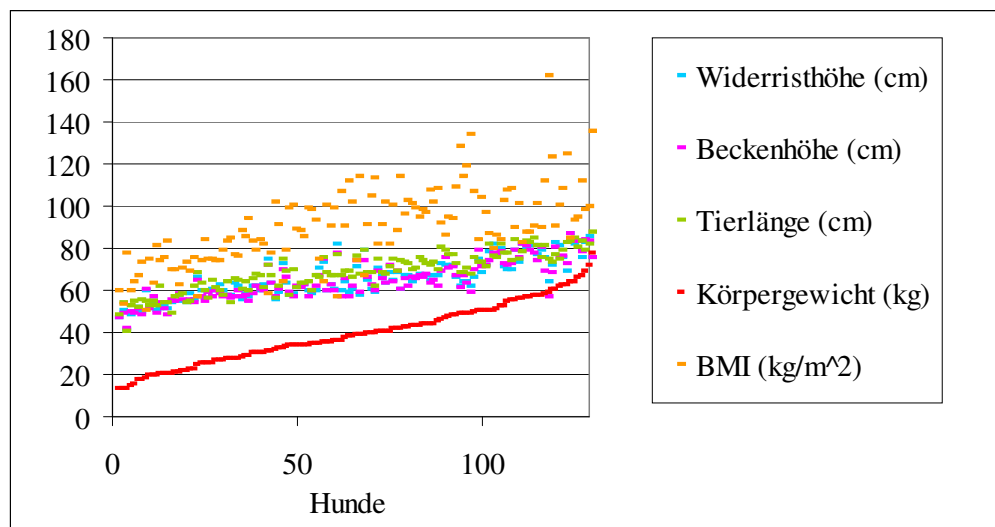


Abb. 14: Widerristhöhe, Beckenhöhe, Tierlänge, Körpergewicht und BMI nach zunehmendem Gewicht angeordnet.

4.1.3. Vertikale Bodenreaktionskräfte

Die **FzV** schwankte zwischen 83.29 und 142.55 % des Körpergewichtes (% KGW). Der Mittelwert betrug 114.21 ± 0.89 % KGW. Die Werte der **FzH** lagen zwischen 54.02 und 95.76 % KGW, im Mittel 72.17 ± 0.65 % KGW. Der **IzV** schwankte zwischen 13.16 und 22.97 % des Körpergewichtes x s (% KGW x s); Mittelwert: 18.05 ± 0.16 % KGW x s. Die Werte des **IzH** waren zwischen 7.37 und 13.26 % KGW x s, im Mittel 10.51 ± 0.12 % KGW x s. Die Werte sind in Tabelle 2 dargestellt.

	FzV (% KGW)	FzH (% KGW)	IzV (% KGW x s)	IzH (% KGW x s)
Min	83.29	54.02	13.16	7.37
Mittelwert	114.21 ± 0.89	72.17 ± 0.65	18.05 ± 0.16	10.51 ± 0.12
Max	142.55	95.76	22.97	13.26

Tab. 2: Minimale, maximale und die Mittelwerte der vertikalen Bodenreaktionskräfte in % KGW, resp. % KGW x s.

4.1.4. Impact Peak

Ein Impact Peak wurde bei 55 Hunden vorne und bei 56 Hunden hinten gefunden. Manche Tiere zeigten einen Impact Peak im Bereich der Vorder- und Hinterbeine ($n = 30$), manche nur vorne ($n = 25$) und andere nur hinten ($n = 26$).

4.1.5. Prozentuale Verteilung des Körpergewichtes auf Vorder- und Hinterbeine

Die prozentuale Verteilung des Körpergewichtes aller Hunde auf die **Vorderbeine** im Trab schwankte zwischen 54.29 und 67.72 %, der Mittelwert betrug 61.28 ± 0.22 %. Die prozentuale Verteilung des Körpergewichtes auf die **Hinterbeine** im Trab schwankte zwischen 32.28 und 45.71 %, im Mittel 38.72 ± 0.22 %.

4.2. Korrelationen

4.2.1. Abhängigkeit der Variablen untereinander

4.2.1.1. Alter

Das **Alter** hatte keinen signifikanten Einfluss auf Gewicht ($p = 0.99$), Tierlänge ($p = 0.94$), Widerristhöhe – Beckenhöhe ($p = 0.59$), Widerristhöhe ($p = 0.46$), Beckenhöhe ($p = 0.38$), Geschlecht ($p = 0.96$), BMI ($p = 0.18$) und Rassekategorie ($p = 0.41$) (Tab. 3).

4.2.1.2. Geschlecht

Das **Geschlecht** (m/w) korrelierte mit dem Gewicht und der Widerristhöhe (Tab. 3). Hündinnen waren signifikant leichter ($p = 0.03$) und kleiner als Rüden ($p = 0.04$). Keine signifikante Korrelation wurde zwischen Geschlecht und Beckenhöhe ($p = 0.06$), Tierlänge ($p = 0.11$), BMI ($p = 0.11$) und Rasse-Kategorie ($p = 0.74$) gefunden (Tab. 3). Auch gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen kastrierten und nicht-kastrierten Hunde, und zwischen männlichen, männlich-kastrierten, weiblichen, und weiblich-kastrierten Hunden im Bereich des Gewichtes, der morphometrischen Parameter und des BMIs.

Minimale, maximale und Mittelwerte der morphometrische Messungen der verschiedenen Geschlechtsgruppen sind im Anhang 3 dargestellt.

4.2.1.3. Körpergewicht

Das **Körpergewicht** korrelierte signifikant mit der Tierlänge, der Widerristhöhe, der Beckenhöhe und dem BMI ($p < 0.01$) (Tab. 3). Das Gewicht wurde auch durch das Geschlecht ($p = 0.03$) und die Rasse-Kategorie ($p < 0.01$) signifikant beeinflusst.

4.2.1.4. Morphometrische Parameter

Die **Widerristhöhe** korrelierte signifikant mit der Beckenhöhe, der Tierlänge, dem BMI und der Rasse-Kategorie ($p < 0.01$) signifikant. Die **Beckenhöhe** korrelierte signifikant mit der Tierlänge, dem BMI und der Rasse-Kategorie ($p < 0.01$). Die **Tierlänge** korrelierte signifikant mit dem BMI und der Rasse-Kategorie ($p < 0.01$). Der **BMI** korrelierte signifikant mit der Rasse-Kategorie ($p < 0.01$). Die Differenz **Widerrist - Beckenhöhe** hatte keinen signifikanten Einfluss. Tabelle 3 zusammenfasst alle diese Korrelationen. Die a-Werte und die R^2 -Werte sind im Anhang 4 dargestellt.

	Alter	Geschlecht (m/w)	Gewicht	Widerristhöhe	Beckenhöhe	Tierlänge	Widerristhöhe - Beckenhöhe	BMI	Rasse - Kategorie
Alter	X	0.96	0.99	0.46	0.38	0.94	0.59	0.18	0.41
Geschlecht (m/w)	0.96	X	0.03	0.04	0.06	0.11	0.45	0.11	0.74
Gewicht	0.99	0.03	X	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.82	< 0.01	< 0.01
Widerristhöhe	0.46	0.04	< 0.01	X	< 0.01	< 0.01	0.16	0.01	< 0.01
Beckenhöhe	0.38	0.06	< 0.01	< 0.01	X	< 0.01	0.19	0.01	< 0.01
Tierlänge	0.94	0.11	< 0.01	< 0.01	< 0.01	X	0.60	< 0.01	< 0.01
Widerristhöhe - Beckenhöhe	0.59	0.45	0.82	0.16	0.19	0.60	X	0.97	0.20
BMI	0.18	0.11	< 0.01	0.01	0.01	< 0.01	0.97	X	< 0.01
Rasse-Kategorie	0.41	0.74	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.20	< 0.01	X

Tab. 3: p-Werte ("v to z"-Test) für die Abhängigkeit der einzelnen Parameter voneinander, [X] = signifikante Korrelation. Das Alter und die Differenz Widerristhöhe - Beckenhöhe sind die einzigen Parameter, die keinen signifikanten Einfluss gezeigt haben.

4.2.1.5. Impact Peak

Die Widerristhöhe, die Beckenhöhe und die Körperlänge hatten einen signifikanten Einfluss auf das Vorhandensein eines Impact Peaks im Bereich der Vorderbeine; je grösser die Hunde waren, desto häufiger war die Entstehung eines Impact Peak. Die Rasse-Kategorie hatte einen signifikanten Einfluss auf das Vorhandensein eines Impact Peaks im Bereich der Hintergliedmassen. Die anderen Variablen haben keine signifikanten Zusammenhänge gezeigt (Tab. 4).

Verschiedene Rassen zeigten häufiger einen Impact Peak als andere (Tab. 5). Zu einem Impact Peak in der Vorderbeinkurve neigten Belgische Schäferhunde, Bernhardiner, Labrador, Schwarzer Russischer Terrier und Landseer, zu einem Impact Peak in der Hinterbeinkurve auch die Belgischen Schäferhunde und Labrador, aber auch Berner Senenhunde (BSH), Deutsche Schäferhunde (DSH), Golden Retriever und Rhodesian Ridgeback.

	IPV	IPH
Rasse-Kategorie	0.13	0.02
Geschlecht (m / mk / w / wk)	0.93	0.82
Alter	0.91	0.14
Gewicht	0.06	0.28
Widerristhöhe	< 0.01	0.21
Beckenhöhe	< 0.01	0.11
Körperlänge	< 0.01	0.44
Widerristhöhe – Beckenhöhe	0.78	0.18
BMI	0.44	0.52
Prozentuale Verteilung des Körpergewichtes auf die Vorderbeine	0.10	0.06
Prozentuale Verteilung des Körpergewichtes auf die Hinterbeine	0.10	0.06

Tab. 4: p-Wert für die Abhängigkeit der einzelne Parameter mit dem Impact Peak, [■] = signifikante Korrelation. IPV = Impact Peak im Bereich der Vorderbeine; IPH = Impact Peak im Bereich der Hinterbeine.

Rasse-Kategorie	IPV	IPH	Rasse-Kategorie	IPV	IPH
Andere Rasse	55	55	Irische Wolfshunde	40	0
Barsoi	50	33	Labrador	67	100
Belgische Schäferhunde	80	80	Landseer	67	11
Bernhardiner	80	40	Laufhunde	0	0
Border Collie	0	33	Leonberger	43	29
BSH	57	86	Mischlinge	33	33
Dalmatiner	25	25	Molosser	0	33
Deutsche Dogge	56	37	Rhodesian Ridgeback	17	83
DSH	50	75	Rottweiler	0	33
Golden Retriever	20	80	SRT	67	33

Tab. 5: Prozent der Tiere in den verschiedenen Rassengruppen, die einen Impact Peak entwickelt haben. [■] = Prozent der Tieren > 60 %. BSH = Berner Sennenhunde, DSH = Deutsche Schäferhunde, STR = Schwarze Russische Terrier

4.2.1.6. Prozentuale Belastung der Vorder- und Hinterbeine

Rasseunterschiede in Bezug auf die prozentuale Gewichtsverteilung sind in Abbildung 15 und im Anhang 5 dargestellt. Die **höchste Vorderbeinbelastung** zeigten Rottweiler, Labrador und Landseer. Die niedrigste Vorderbeinbelastung, respektive die höchste Hinterbeinbelastung, wurden bei den Barsoi, den Irischen Wolfshunden und den Border Collies gefunden.

Das Geschlecht und die Hunderasse beeinflussten die prozentuale Gewichtsverteilung auf Vorder- und Hinterbeine. Die prozentuale Belastung der Vorderbeine war bei männlichen Tieren tendenziell grösser als bei weiblichen (Abb. 16 und 17). Signifikante Unterschiede wurden aber nur zwischen männlichen und weiblich-kastrierten Hunden nachgewiesen ($p < 0.01$). Umgekehrt gilt für die Belastung der Hinterbeine: männliche Tieren belasten die Hinterbeine tendenziell weniger als weibliche (Abb. 16 und 17).

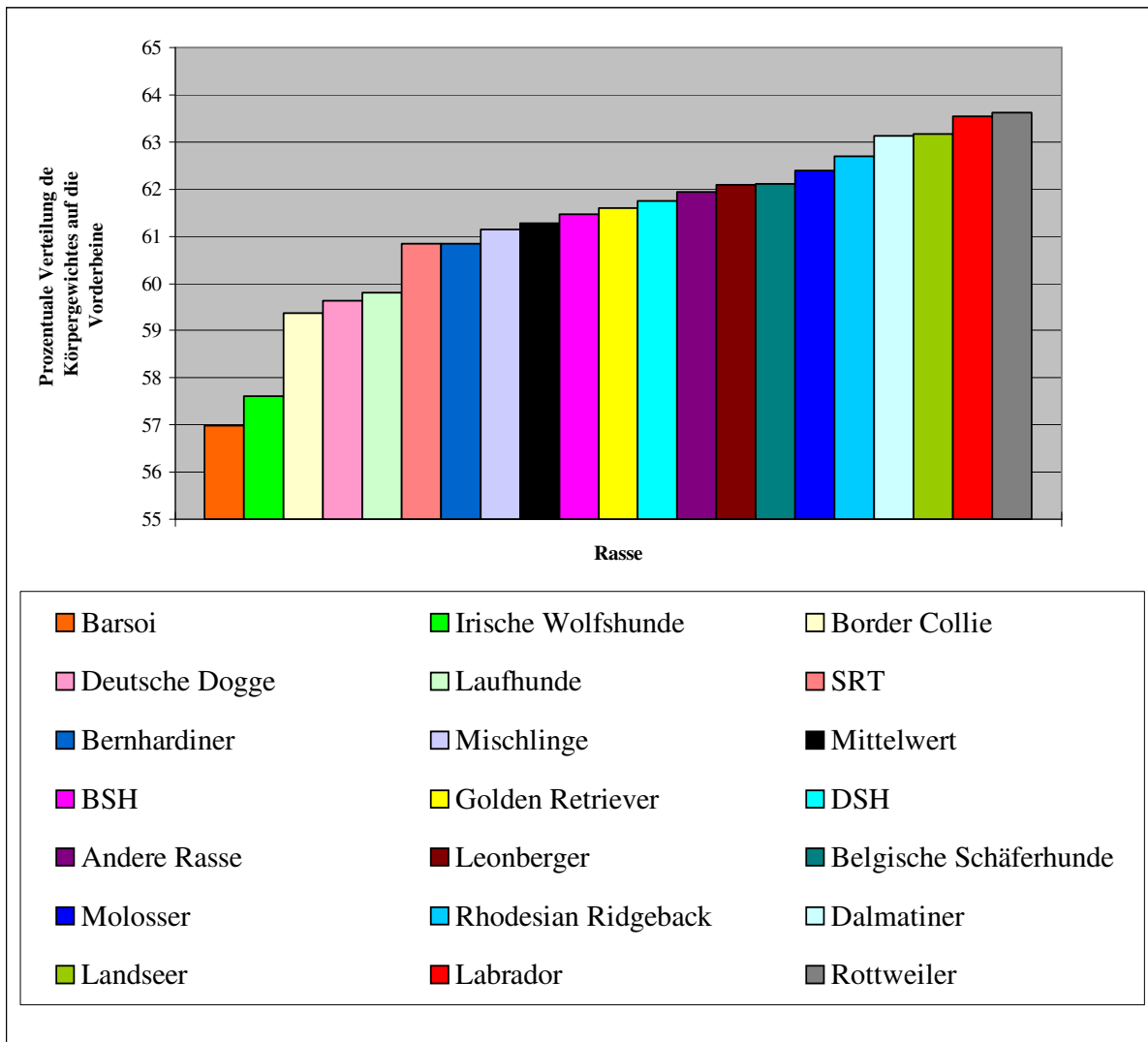


Abb. 15: prozentuale Vorderbeinbelastung in den verschiedenen Rassengruppen. Barsoi und Irische Wolfshunde haben signifikante Unterschiede bezüglich der prozentuale Belastung der Beine im Vergleich zu vielen anderen Rassen gezeigt.

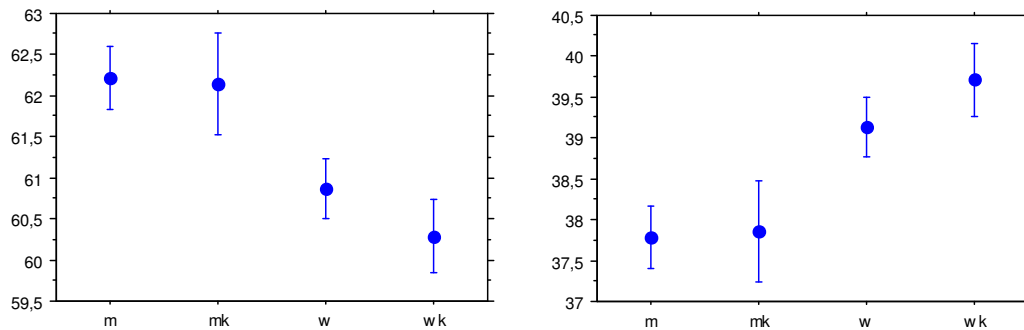


Abb. 16 / 17: Prozentualer Anteil der Belastung der Vorder- und Hinterbeine in den Geschlechtsgruppen. Männliche Tieren zeigen eine grössere prozentuale Belastung der Vorderbeine.

4.2.2. Abhängigkeit der Bodenreaktionskräfte von einzelnen Variablen

4.2.2.1. Alter

Das Alter hat keinen signifikanten Einfluss auf die vertikalen Bodenreaktionskräfte gezeigt. P betrug 0.92 für FzV, 0.47 für FzH, 0.94 für IzV und 0.59 für IzH (Tabelle 10).

4.2.2.2. Geschlecht

Weibliche und weiblich-kastrierte Hunde belasteten tendenziell eher die Hintergliedmassen, während männliche Tiere mehr Gewicht auf die Vordergliedmassen nahmen (Abb. 18-21). Dieser Trend war aber für FzV, FzH und IzH nicht signifikant. Signifikante Unterschiede wurden einzig für den IzV nachgewiesen (Tab. 6). Männliche Tiere übten einen signifikanten stärkeren IzV im Vergleich zu weiblichen ($p < 0.01$) und weiblich-kastrierten ($p < 0.01$) Tieren aus.

	FzV	FzH	IzV	IzH
Geschlecht m/mk/w/wk	0.14	0.42	0.02	0.35
Geschlecht m/w	0.26	0.09	< 0.01	0.70
Geschlecht k/nk	0.28	0.65	0.10	0.12

Tab. 6: p -Wert für die Abhängigkeit der Geschlechts-Kategorie-Gruppen mit den Parametern FzV, FzH, IzV und IzH, [■] = signifikante Korrelation. Das Geschlecht beeinflusst nur die Impuls-Werte der Vorderbeine signifikant.

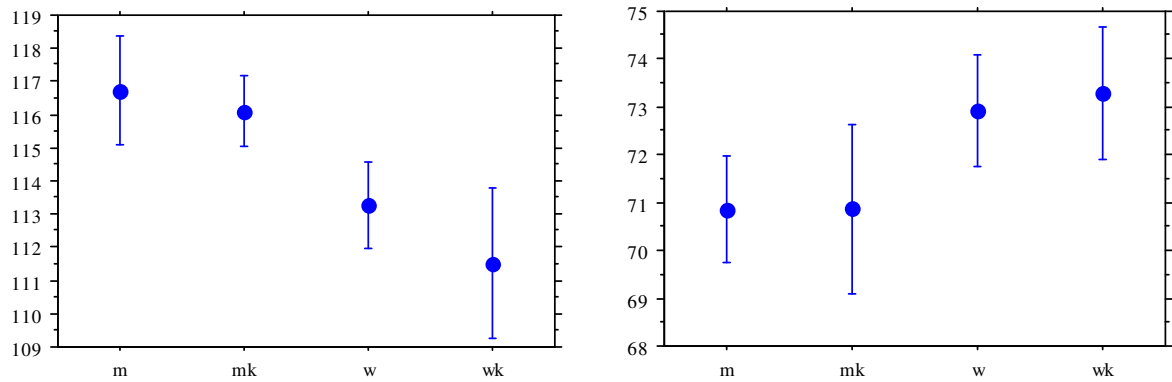


Abb. 18 / 19: FzV (% KGW) / Geschlecht; FzH (% KGW) / Geschlecht. Männliche und männlich-kastrierte Hunde belasten eher die Vordergliedmassen, während weibliche Tiere mehr Gewicht auf die Hintergliedmassen nahmen.

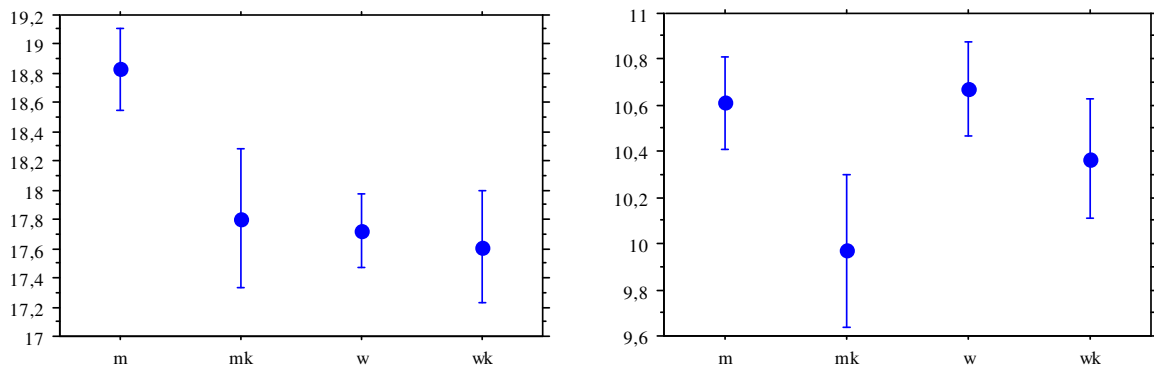


Abb. 20 / 21: IzV (% KGW x s) / Geschlecht; IzH (% KGW x s) / Geschlecht. Die einzige signifikante Unterschiede wurden im Bereich des IzV nachgewiesen. Männliche Tiere haben einen signifikanten grösseren IzV im Vergleich zu weiblichen und weiblich-kastrierten Tieren.

4.2.2.3. Körpergewicht

Das Körpergewicht und die Gewichtskategoriegruppen korrelieren mit allen gemessenen vertikalen Bodenreaktionskräften signifikant (alle p-Werte < 0.01). Leichtere Tiere zeigten eine signifikant stärkere **FzV** bzw. **FzH** im Vergleich zu schwereren Tieren (Abb. 22 und Abb. 23) und einen signifikant niedrigen **IzV** bzw. **IzH** im Vergleich zu schwereren Tieren (Abb. 24 und Abb. 25). Die p-, R^2 - und a-Werte sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

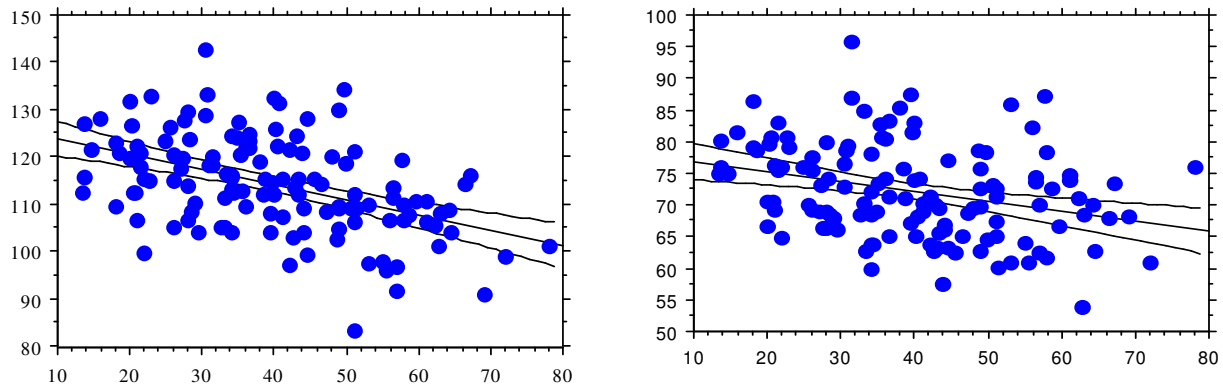


Abb. 22 / 23: FzV (% KGW) / Gewicht (kg) und FzH (% KGW) / Gewicht (kg) mit 95% Vertrauensintervall. Leichtere Hunde zeigten einen stärkeren FzV bzw. FzH im Vergleich zu schwereren Hunden.

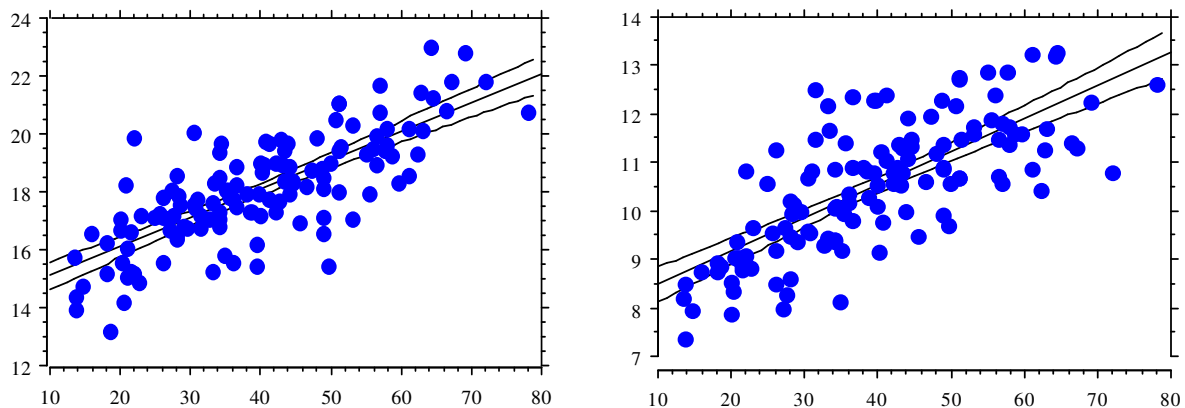


Abb. 24 / 25: IzV (% KGW x s) / Gewicht (kg); IzH (% KGW x s) / Gewicht mit 95% Vertrauensintervall. Leichtere Hunde zeigten einen niedrigen IzV bzw. IzH im Vergleich zu schwereren Hunden.

Wenn man die einzelnen **Gewichts-Kategorie-Gruppen** (GKG) betrachtet, fanden sich signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen GKG und der **FzV** zwischen Gruppe 1 und Gruppen 8, 9 und 10 ($p < 0.01$), zwischen Gruppe 4 und Gruppen 8, 9 und 10 ($p < 0.01$) und zwischen Gruppe 5 und Gruppe 10 ($p < 0.01$) (Abb. 26 und Tab. 7).

Signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen GKG wurden im Bereich der **FzH** nachgewiesen, allerdings waren die Daten hier weniger kontinuierlich verteilt. Signifikante Unterschiede wurden zwischen Gruppe 1 und Gruppe 6 ($p < 0.01$), zwischen Gruppe 2 und Gruppe 6 ($p < 0.01$) und zwischen Gruppe 5 und Gruppen 6 und 10 ($p < 0.01$) gefunden (Abb. 27 und Tab. 7).

Signifikante Unterschiede zwischen den GKG und der **IzV** wurden zwischen Gruppe 1 und Gruppen 3 ($p < 0.01$), 4-10 ($p < 0.01$), zwischen Gruppe 2 und Gruppen 6-10 ($p < 0.01$), zwischen Gruppe 3 und Gruppen 6, 8-10 ($p < 0.01$), zwischen Gruppe 4 und Gruppen 8-10 ($p < 0.01$), zwischen

Gruppe 5 und Gruppen 8-10 ($p < 0.01$), zwischen Gruppe 6 und Gruppe 10 ($p < 0.01$) und zwischen Gruppe 7 und Gruppe 10 ($p < 0.01$) nachgewiesen (Abb. 28 und Tab. 7).

Beim Impuls der Hinterbeine (**IzH**) gab es signifikante Unterschiede zwischen Gruppe 1 und Gruppen 4-10 ($p < 0.01$), zwischen Gruppe 2 und Gruppen 5-10 ($p < 0.01$), zwischen Gruppe 3 und Gruppen 5-10 ($p < 0.01$) und zwischen Gruppe 4 und Gruppen 8-10 ($p < 0.01$) (Abb. 29 und Tab. 7).

Zusätzliche Informationen sind im Anhang 6 dargestellt.

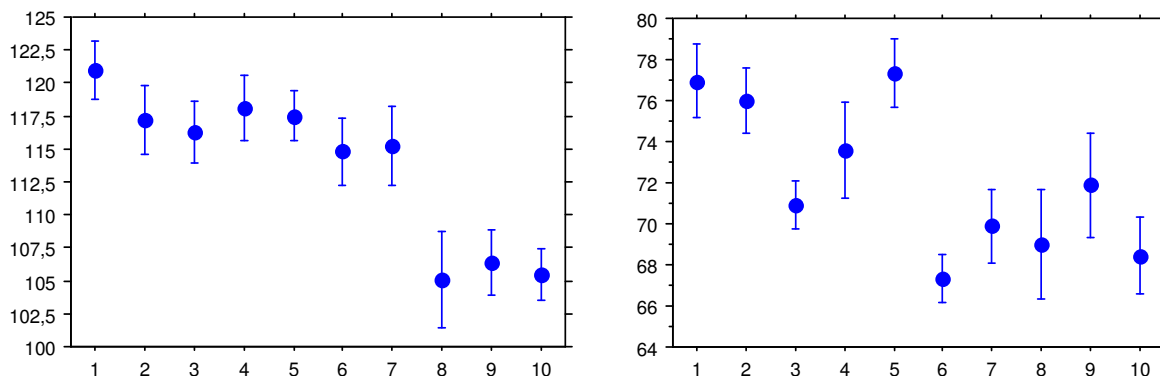


Abb. 26 und 27: FzV (% KGW) / GKG; FzH (% KGW) / GKG. Abb. 26: Signifikante Unterschiede wurden zwischen Gruppe 1 und Gruppen 8 und 10, zwischen Gruppe 4 und Gruppen 8, 9 und 10 und zw. Gruppe 5 und Gruppe 10 nachgewiesen. Abb. 27 Signifikante Unterschiede wurden zwischen Gruppe 6 und Gruppe 1 und 2 nachgewiesen.

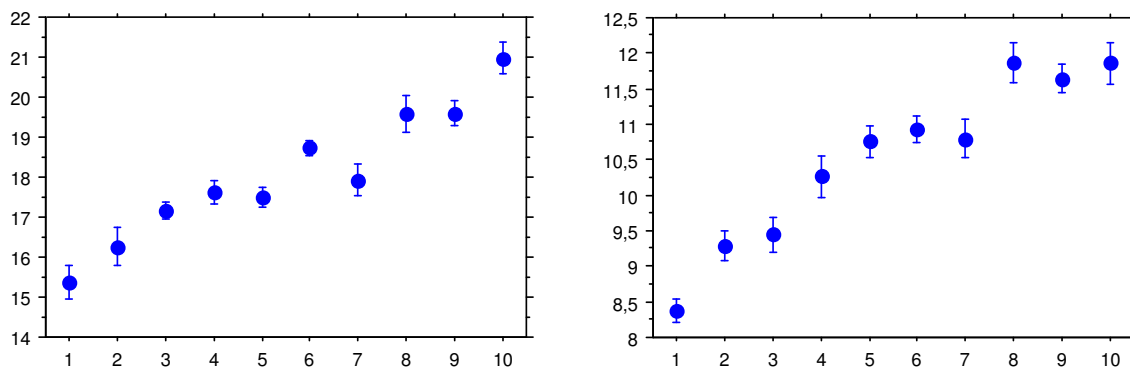


Abb. 28 und 29: IzV (% KGW x s) / GKG; IzH (% KGW x s) / GKG. Leichtere GKG zeigten im Allgemeinen einen niedrigen IzV bzw. IzH im Vergleich zu schwereren Hunden.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FzV	1											IzV											
	2																						
	3																						
	4																						
	5																						
	6																						
	7																						
	8																						
	9																						
	10																						
FzH	1											IzH											
	2																						
	3																						
	4																						
	5																						
	6																						
	7																						
	8																						
	9																						
	10																						

Tab. 7: signifikante Unterschiede [■] zwischen den verschiedenen GKG. Signifikante Unterschiede liegen vor allem zwischen den leichteren und schwereren GKG. Nummer 1 bis 10 sind die verschiedene GKG.

4.2.2.4. Morphometrische Parameter

Höhere und längere Tiere zeigten kleinere FzV und FzH und stärkere IzV und IzH im Vergleich zu kleineren und kürzeren Tieren. Dieser Einfluss war signifikant ($p < 0.01$) für FzV, den IzV und den IzH. Einzig FzH wurde von den morphometrischen Messungen nicht signifikant beeinflusst (Tab. 8). Die Differenz Widerristhöhe - Beckenhöhe hatte keinen Einfluss auf die vertikalen Bodenreaktionskräfte.

Der BMI verhielt sich wie das Gewicht und beeinflusste die FzV ($p = 0.02$), die FzH ($p < 0.01$), den IzV ($p < 0.01$) und den IzH ($p < 0.01$) signifikant (Tab. 8 und Abb. 30-33). Hunde mit einem niedrigen BMI zeigten eine signifikant stärkere **FzV** bzw. **FzH** im Vergleich zu Hunden mit einem grösseren BMI (Abb. 30 und Abb. 31). Hunde mit einem niedrigen BMI zeigten signifikant niedrigere **IzV** und **IzH** im Vergleich zu Hunden mit einem grösseren BMI (Abb. 32 und Abb. 33).

R^2 - und a-Werte der Analyse der morphometrischen Messungen sind in Tabelle 10 dargestellt.

	FzV	FzH	IzV	IzH
Widerristhöhe	< 0.01	0.27	< 0.01	< 0.01
Beckenhöhe	< 0.01	0.17	< 0.01	< 0.01
Körperlänge	< 0.01	0.09	< 0.01	< 0.01
Widerristhöhe - Beckenhöhe	0.13	0.24	0.80	0.84
BMI	0.02	< 0.01	< 0.01	< 0.01

Tab. 8: P-Werte für die Abhängigkeit der Variablen Widerristhöhe, Beckenhöhe, Körperlänge, Differenz Widerristhöhe - Beckenhöhe und BMI mit den Parametern FzV, FzH, IzV und IzH.

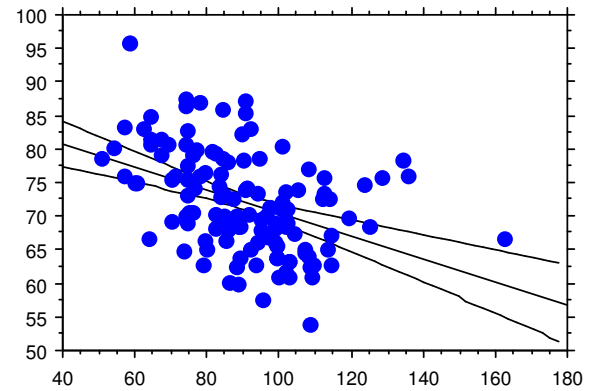
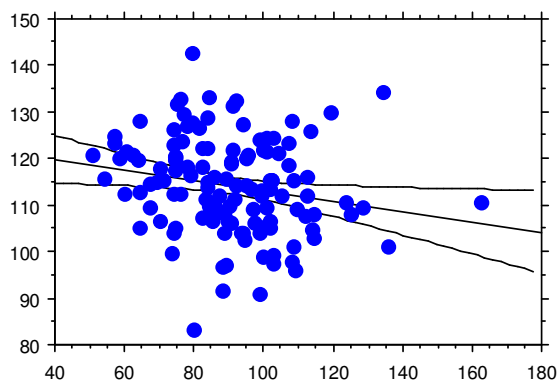


Abb. 30 und 31: FzV (% KGW) / BMI und FzH (% KGW) / BMI mit 95% Vertrauensintervall. Hunde mit einem niedrigen BMI zeigten eine signifikant stärkere FzV bzw. FzH im Vergleich zu Hunden mit einem grösseren BMI.

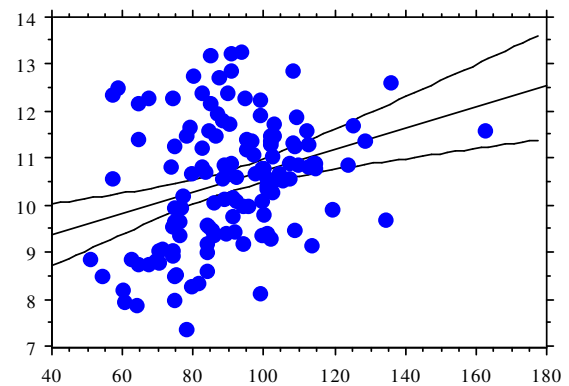
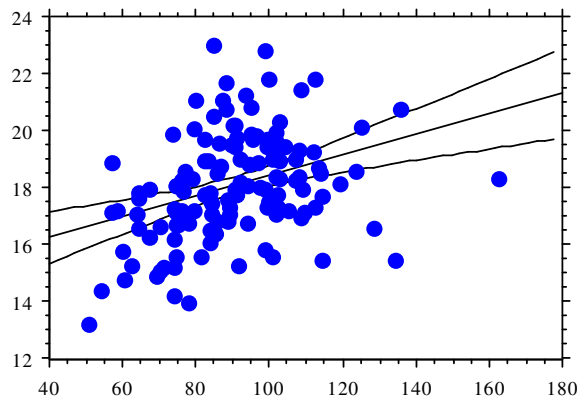


Abb. 32 und 33: IzV (% KGW x s) / BMI und IzH (% KGW x s) / BMI mit 95% Vertrauensintervall. Hunde mit einem niedrigen BMI zeigten einen signifikant niedrigen IzV bzw. IzH im Vergleich zu Hunden mit einem grösseren BMI.

4.2.2.5. Rassen

Die Werte aller vertikalen Bodenreaktionskräfte wurden durch die Rasse signifikant ($p < 0.01$) beeinflusst. Die Bodenreaktionskräfte der verschiedenen Rassen sind in den Abbildungen 34-37 graphisch und im Anhang 7 numerisch dargestellt.

Zusammenfassend zeigten die Riesenrassen tendenziell kleinere Fz Werte und höhere Iz Werte als kleinere Hunde. Besonders Deutsche Doggen und Leonberger fielen auf, welche im Verhältnis zu vielen anderen Rassen eine signifikant kleinere FzV aufwiesen. Die windhundartige Rassen, das heisst die Barsois und die Irischen Wolfshunde, belasteten die Hinterbeine signifikant mehr im Vergleich zu vielen anderen Rassen. Hier waren die vertikale Kraft und der Impuls höher als bei den meisten anderen Rassen (Anhang 8).

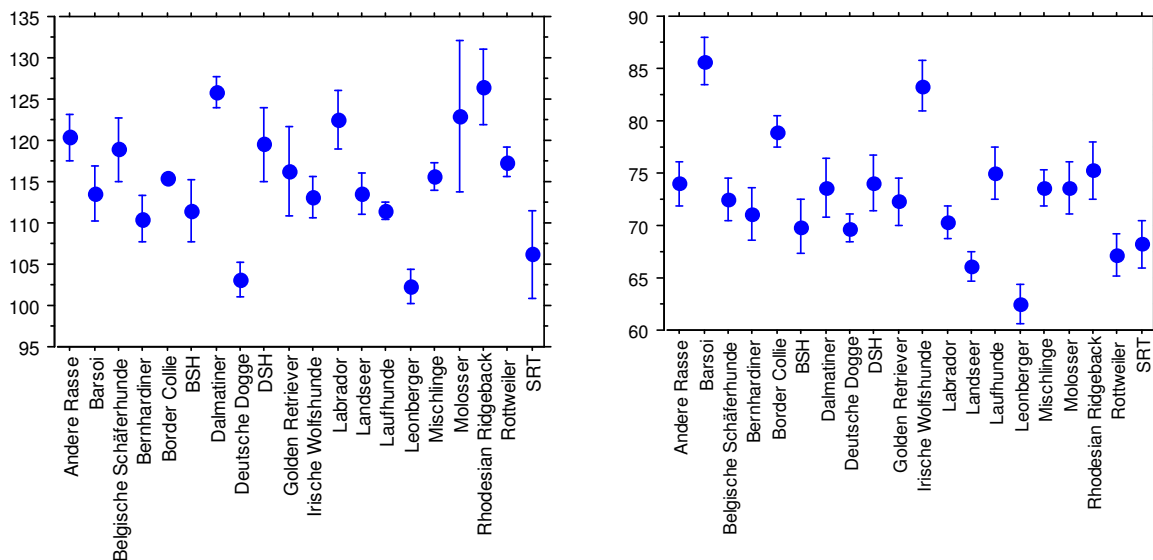


Abb. 34 und 35: FzV (% KGW) / Rasse und FzH (% KGW) / Rasse. Die Rhodesian Ridgeback, die Dalmatiner und die Molosser waren die drei Rassen mit der höchsten FzV; die Leonberger, die Deutsche Doggen und die SRT diejenige mit der kleinsten. Die Barsoi, die Irische Wolfshunde und die Border Collie waren die drei Rassen mit der höchsten FzH; die Leonberger, die Landseer und die Rottweiler diejenige mit der kleinsten.

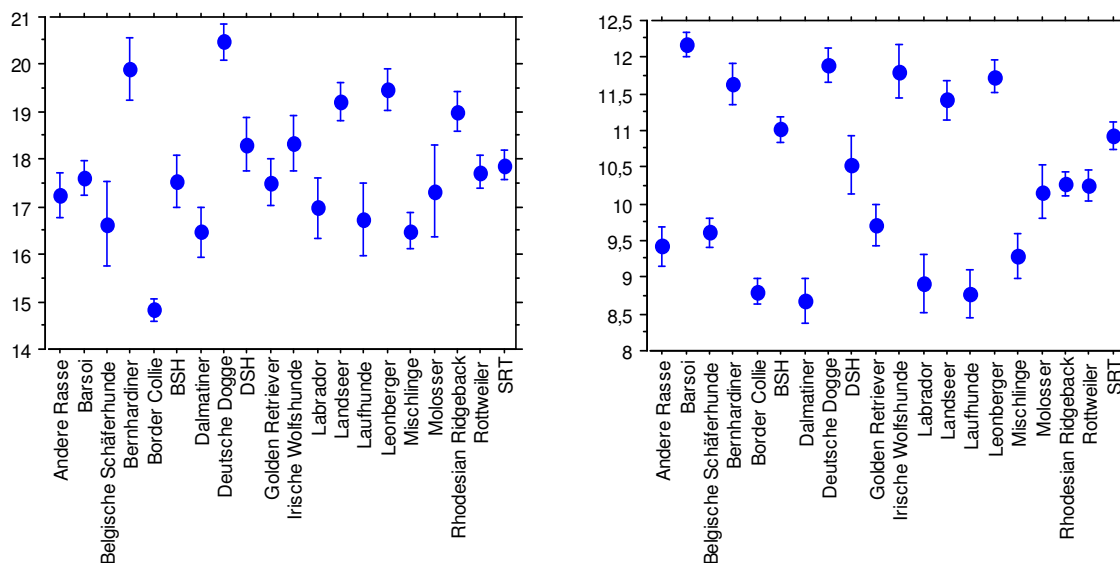


Abb. 36 und 37: IzV (% KGW x s) / Rasse und IzH (% KGW x s) / Rasse. Die Deutschen Doggen, die Bernhardiner und die Leonberger waren die drei Rassen mit der höchsten IzV; die Border Collie, die Dalmatiner und die Mischling-Gruppe diejenige mit der kleinsten. Die Barsoi, die Deutsche Doggen und die Irische Wofshunde waren die drei Rassen mit der höchsten IzH; die Dalmatiner, die Laufhunde und die Border Collie diejenige mit der kleinsten.

4.2.2.6. Impact Peak

Der IzV und der IzH hatten einen signifikanten Einfluss auf das Vorhandensein eines Impact Peaks im Bereich der Vorderbeine, die FzV auf das Vorhandensein eines Impact Peaks im Bereich der Hintergliedmassen. Tiere mit einer höheren FzV zeigten vermehrt einen Impact Peak. FzH zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (Tab. 9).

	IPV	IPH
FzV	0.12	0.01
FzH	0.72	0.82
IzV	< 0.01	0.24
IzH	< 0.01	0.53

Tab. 9: p-Wert für die Abhängigkeit der einzelne Parameter mit dem Impact Peak, [] = signifikante Korrelation. IPV = Impact Peak im Bereich der Vorderbeine; IPH = Impact Peak im Bereich der Hinterbeine.

4.2.2.7. Zusammenfassung: welche Variablen haben einen signifikanten Einfluss auf die vertikale Bodenreaktionskräfte?

Die Rassengruppen, das Gewicht, das Kategoriegewicht, der BMI zeigen eine signifikante Korrelation mit allen gemessenen Bodenreaktionskräften, FzV, FzH, IzV und IzH. Die Widerristhöhe, die Beckenhöhe und die Tierlänge korrelieren mit FzV, IzV und IzH signifikant. Der IPV beeinflusst IzV

und IzH, der IPH FzV und das Geschlecht IzV signifikant (Tab. 10). Bei den meisten Parametern besteht eine gute Korrelation ($R^2 > 0,5$).

	P				R^2				a			
	FzV	FzH	IzV	IzH	FzV	FzH	IzV	IzH	FzV	FzH	IzV	IzH
Rassengruppen	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01								
Geschlecht (m/mk/w/wk)	0.14	0.42	0.02	0.35								
Geschlecht m/w	0.26	0.09	< 0.01	0.70								
Geschlecht k/nk	0.28	0.65	0.10	0.12								
Alter	0.92	0.47	0.94	0.59	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.03	-0.17	< -0.01	-0.02
Gewicht	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.21	0.10	0.59	0.54	-0.32	-0.16	0.10	0.07
Gewicht-Kategorie	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01								
Widerristhöhe	< 0.01	0.27	< 0.01	< 0.01	0.17	0.01	0.58	0.65	-0.45	-0.08	0.15	0.11
Beckenhöhe	< 0.01	0.17	< 0.01	< 0.01	0.20	0.01	0.57	0.64	-0.49	-0.09	0.15	0.11
Körperlänge	< 0.01	0.09	< 0.01	< 0.01	0.14	0.02	0.56	0.70	-0.40	-0.12	0.15	0.12
Widerristhöhe – Beckenhöhe	0.13	0.24	0.80	0.84	0.02	0.01	< 0.01	< 0.01	0.59	0.34	0.02	0.01
BMI	0.02	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.04	0.18	0.12	0.09	-0.11	-0.17	0.04	0.02
IPV	0.12	0.72	< 0.01	< 0.01								
IPH	0.01	0.82	0.24	0.53								

Tab. 10: Einfluss der gemessenen und gefundenen Variablen auf die vertikale Bodenreaktionskräfte, [] = signifikante Korrelation.

4.2.3. Abhängigkeit der vertikalen Bodenreaktionskräfte mit mehreren Variablen

Drei verschiedene Variablen haben zusammen einen signifikanten Einfluss auf die **FzV** gezeigt: das Gewicht ($p = 0.01$), die Körperlänge ($p = 0.04$) und die Beckenhöhe ($p = 0.02$). Der Korrelationskoeffizient (R^2) betrug 0.50. Die Formel der multiplen linearen Regression lautet: $FzV = 126.24 - 0.33x + 0.45y - 0.46z \pm 0.53$, wobei x das Gewicht (kg), y die Körperlänge (cm) und z die Beckenhöhe (cm) darstellen.

Drei verschiedene Variablen zusammen haben einen signifikanten Einfluss auf die **FzH** gezeigt: das Gewicht ($p = 0.03$), die Körperlänge ($p = 0.04$) und der BMI ($p = 0.02$). Der Korrelationskoeffizient (R^2) betrug 0.45. Die Formel der multiplen linearen Regression lautet: $FzH = 70.60 - 0.25x + 0.31y - 0.11z \pm 0.32$, wobei x das Gewicht (kg), y die Körperlänge (cm) und z der BMI darstellen.

Zwei verschiedene Variablen zusammen haben einen signifikanten Einfluss auf den **IzV** gezeigt: das Gewicht ($p < 0.01$) und der BMI ($p < 0.01$). Der Korrelationskoeffizient (R^2) betrug 0.80. Die Formel der multiplen linearen Regression lautet: $IzV = 15.78 + 0.12x - 0.03y \pm 0.02$, wobei x das Gewicht (kg) und y der BMI darstellen.

Zwei verschiedene Variablen zusammen haben einen signifikanten Einfluss auf den **IzH** gezeigt: die Beckenhöhe ($p = 0.02$) und die Körperlänge ($p < 0.01$). Der Korrelationskoeffizient (R^2) betrug 0.85. Die Formel der multiplen linearen Regression lautet: $IzH = 2.24 + 0.04x \text{ (cm)} + 0.09y \text{ (cm)} \pm 0.03$, wobei x die Beckenhöhe (cm) und y die Körperlänge (cm) darstellen.

5. DISKUSSION

5.1. Einleitung

Die mit Kraftmessplatten ermittelten Daten eines Bewegungsablaufes sind objektiver als die klinische Ganguntersuchung. Heutzutage werden die Bodenreaktionskräfte als Standard für die Beurteilung von Lahmheiten angesehen. Allerdings unterliegen die gemessenen Bodenreaktionskräfte einer recht grossen Variabilität, die von Messbedingungen, wie der Geschwindigkeit und der Beschleunigung während der Messung, und vom verwendeten Patientenmaterial abhängen. Diese Unterschiede erschweren den Vergleich von Daten zwischen Gruppen oder Studien mit verschiedenem Patientenmaterial.

Während die durch unterschiedliche Messbedingungen verursachten Änderungen der Bodenreaktionskräfte relativ gut beschrieben sind [21, 22, 33, 47, 54, 56-58, 64] und auch in den meisten Studien berücksichtigt werden, wurden die Einflüsse der Patienten selber weniger genau evaluiert. Es ist aber bekannt, dass es, obwohl die Bodenreaktionskräfte auf das Körpergewicht normiert werden, deutliche Unterschiede zwischen Hunden in Bezug auf ihr Gewicht und ihrer Morphologie gibt [21, 29, 53, 57]. Das Ziel der vorliegenden Studie war die Untersuchung der Einflüsse von Körpergewicht, morphometrischen Messungen, Rassezugehörigkeit, Alter und Geschlecht auf die Bodenreaktionskräfte unter standardisierten Messbedingungen.

Für die Studie wurden nur orthopädisch gesunde Hunde verwendet. Die orthopädische Gesundheit der Hunde wurde anhand einer kompletten klinisch orthopädischen Untersuchung evaluiert und anhand der Berechnung des SI bestätigt. Die Messungen wurden im Trab durchgeführt, da dies im Vergleich zum Schritt die sensitivere Gangart ist, um leichtgradige Lahmheiten zu messen [41]. Es wurden nur die F_z und der I_z der Vorder- und Hintergliedmassen berücksichtigt, weil diese zwei Werte die grösste Reproduzierbarkeit besitzen und am häufigsten in klinischen Studien zur Anwendung kommen [7]. Andere messbare Daten, wie zum Beispiel die horizontalen Kräfte, die positive und negative Steigung der Kurven und die Zeit, in der die Kraft seinen maximalen Wert erreicht sind, wurden gemessen aber nicht evaluiert.

Um aussagekräftige Daten in Bezug auf die Hundemorphologie zu erhalten wurden die Messbedingungen soweit wie möglich standardisiert. Geschwindigkeitsdifferenzen von weniger als 0.3 m/s, und Differenzen in der Beschleunigung von $\pm 0.4 \text{ m/s}^2$ haben keinen Einfluss auf die Bodenreaktionskräfte [23, 47]. Geschwindigkeitsdifferenzen von weniger als 0.3 m/s und Änderungen in der Beschleunigung von weniger als $\pm 0.3 \text{ m/s}^2$ wurden bei allen Messungen der 129 Hunde eingehalten und sollten so die erhaltenen Daten nicht beeinflusst haben.

Der Einfluss anderer Faktoren konnte leider nicht vollständig eliminiert werden. Zum Beispiel beeinflussen die Anzahl der Probenwiederholungen, tagesabhängige Unterschiede und die Gewöhnung der Hunde an die Kraftmessplatte die Bodenreaktionskräfte signifikant [18, 33, 65, 66]. Diese Faktoren sind schwierig zu eliminieren wenn klinische Patienten verwendet werden. Obwohl alle Hunde vor Beginn der Messungen frei im Labor herumliefen, bis sie mit der Umgebung vertraut geworden waren, wurden alle Hunde zum ersten Mal über die Kraftmessplatte geführt. Auch wurde nur an einem Tag gemessen, was einen gewissen Einfluss auf die Daten gehabt haben könnte. Die Hunde wurden jeweils von ihren Besitzern, also von unterschiedlichen Hundeführern, über die Platte geführt. Ein Führerwechsel hat allerdings nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse [33]. Abgesehen von der kurzen Gewöhnungszeit der Patienten an die Messungen, wurden die Messbedingungen soweit standardisiert, dass insgesamt eine signifikante Beeinflussung der gemessenen Bodenreaktionskräfte unwahrscheinlich scheint.

Die **FzV** schwankte zwischen 83.29 und 142.55 % KGW, der Mittelwert betrug 114.21 ± 0.89 % KGW. In der Literatur sind bei trabenden Hunden Mittelwerte zwischen 106.68 und 131.31 % KGW beschrieben. Die Werte der **FzH** lagen zwischen 54.02 und 95.76 % KGW. Der Mittelwert betrug 72.17 ± 0.65 % KGW. Auch dieser Wert liegt innerhalb der in der Literatur beschriebenen Werte von zwischen 65.11 und 104.80 % KGW. Der **IzV** schwankte zwischen 13.16 und 22.97 % des Körpergewichtes $\times s$ (% KGW $\times s$). Der Mittelwert betrug 18.05 ± 0.16 % KGW $\times s$, während in der Literatur leichtgradig kleinere Werte zwischen 14.2 und 17.2 % KGW $\times s$ angegeben werden. Die Werte des **IzH** lagen zwischen 7.37 und 13.26 % KGW $\times s$. Der Mittelwert betrug 10.51 ± 0.12 % KGW $\times s$, was innerhalb der in der Literatur gemessenen Werte von zwischen 9.33 und 11.1 % KGW $\times s$ liegt [23, 47, 58]. Der leicht höhere Impuls der Vorderbeine in dieser Studie kam eventuell durch die Verwendung von vielen grossrassigen Hunden, wie z.B. Doggen, zustande (s. Punkte 5.1, 5.2 und 5.3 der Diskussion).

Im Folgenden werden die Resultate und die in der Zielsetzung der Studie formulierten Fragen diskutiert.

5.2. Einfluss aller Faktoren auf die Bodenreaktionskräfte

Haben neben dem Gewicht und der Rassezugehörigkeit auch andere Faktoren, wie Alter, Geschlecht, Widerristhöhe, Beckenhöhe, Tierlänge und Body Mass Index einen Einfluss auf die Bodenreaktionskräfte?

Der Einfluss des **Körpergewichtes** auf die vertikalen Bodenreaktionskräfte wurde in der Gangart Schritt bereits beschrieben [21]. Wie im Schritt, zeigten in der vorliegenden im Trab durchgeführten

Studie leichtere Hunde eine stärkere FzV und eine stärkere FzH im Vergleich zu schwereren Hunden (Abb. 22 und Abb. 23). Eine umgekehrte Korrelation galt für den Impuls. Tiere mit einem niedrigen Gewicht hatten eine kleinere IzV bzw. IzH im Vergleich zu schwereren Hunden (Abb. 24 und Abb. 25). Diese Unterschiede rühren wahrscheinlich daher, dass bei grösseren Hunden die Beine bei einer definierten Geschwindigkeit langsamer auf die Kraftmessplatte auftreten als bei kleineren Hunden, und somit eine kleinere vertikale Bodenreaktionskraft aufweisen. Die Beine der grösseren Hunde verbleiben aber länger auf der Platte und verursachen so eine längere Plattenkontaktzeit und einen grösseren Impuls im Vergleich zu kleineren Hunden.

Auch die **Länge** und die **Widerrist-** und **Beckenhöhe** der Tiere und der **BMI** haben einen signifikanten Einfluss auf die vertikalen Bodenreaktionskräfte gezeigt. Je länger und höher die Tiere waren, desto kleiner waren die vertikalen Bodenreaktionskräfte und desto grösser war der Impuls. Da diese morphometrischen Messungen positiv mit dem Gewicht korrelieren (Abb. 14), ist es wahrscheinlich, dass das Gewicht die Hauptursache dieser signifikanten Einflüsse ist.

Der BMI beeinflusste alle vier gemessenen Werte der vertikalen Bodenreaktionskräfte signifikant (Tab. 10). Der BMI wurde mit dem Gewicht, der Widerristhöhe und der Beckenhöhe berechnet. Da diese drei Variablen allein den Wert der vertikalen Bodenreaktionskräfte beeinflussen, hat den BMI auch einen signifikanten Einfluss auf die Bodenreaktionskräfte. Wie beim Gewicht nachgewiesen, zeigten Tiere mit einem niedrigen BMI signifikant höhere Werte im Bereich der FzV und FzH (Abb. 30 und Abb. 31). Umgekehrte Korrelation galt für den Impuls: Hunde mit einem höheren BMI hatten signifikant kleinere Werte von IzV und IzH (Abb. 32 und Abb. 33).

Der Einfluss des **Geschlechts** auf die vertikalen Bodenreaktionskräfte war unerwartet. Männliche Tiere zeigten tendenziell eine stärkere FzV und eine kleinere FzH als weibliche Tiere, obwohl der Unterschied nicht signifikant war (Abb. 18 und Abb. 19). Da die männlichen Tiere in der vorliegenden Studie signifikant schwerer waren als die weiblichen Tiere, könnte das höhere Körpergewicht für die geringere Belastung der Hinterbeine (FzH) bei männlichen Tieren verantwortlich gemacht werden. Allerdings müsste das gleiche dann auch für die FzV gelten, was aber nicht der Fall war.

Der IzV war bei männlichen Hunden signifikant grösser als bei weiblichen Tieren und weiblich-kastrierten Hunden. Die Ursache dieses grösseren Impulses kann durch das höhere Gewicht der männlichen Hunde erklärt werden. Interessanterweise lag aber der Wert des IzV der männlich-kastrierten Hunde im Bereich der Werte von weiblichen und weiblich-kastrierten Hunde. Keine signifikanten Unterschiede wurden für den IzH gefunden (Abb. 21).

Für die Erklärungen dieser Unterschiede kommen die unterschiedliche Körperkonstitution und die Differenzen des Körperbaus zwischen männlichen und weiblichen Tieren, wie zum Beispiel eine Verschiebung des Schwerpunktes nach vorne bei männlichen Tieren, bzw. nach hinten bei weiblichen Tieren, und eine stärkere Muskelentwicklung bei männlichen Hunden in Frage. So war auch die

prozentuale Belastung der Vorder- bzw. Hinterbeine im Trab bei männlichen Tieren tendenziell grösser als bei Hündinnen (Abb. 16 und Abb. 17) und bei männlich intakten Tieren signifikant grösser als weiblich-kastrierten Hunde. Eine Verschiebung des Schwerpunktes bei männlichen Tieren mehr nach vorne und eine stärkere Muskelentwicklung finden aber keine Bestätigung in der Literatur. So wurde in einer Studie kein signifikanter Unterschied im Muskelumfang an den Oberschenkeln zwischen männlichen und weiblichen Tieren gefunden [80].

Das **Alter** der Tiere hat keinen signifikanten Einfluss auf die vertikalen Bodenreaktionskräfte gezeigt, obwohl ein breite Altersspanne von 4 Monaten bis 13 Jahren untersucht wurde.

5.3. Körpergewicht und Bodenreaktionskräfte

Wie gross ist der Einfluss des Gewichtes auf die Bodenreaktionskräfte? Ab welchem Gewichtsunterschied gibt es signifikante Unterschiede in den Bodenreaktionskräften?

Da das Körpergewicht einen signifikanten Einfluss auf die Bodenreaktionskräfte hat, wäre es nun gut zu wissen, ab welchen Gewichtsunterschieden sich die Kräfte signifikant ändern. Während die FzV, der IzV und der IzH recht gleichmässig im Vergleich zum Gewicht ab- (FvZ) bzw. zunahmen (IzV und IzH), war diese Abhängigkeit bei der FzH nicht linear und wies mehr Streuungen auf (Abb. 27).

Bei der **FzV** (Abb. 26) zeigten vor allem die Riesenrassen über 50 kg deutlich tiefere Werte als die restlichen Hunde, welche alle ähnliche Werte aufwiesen. Signifikante Unterschiede wurden z.B. zwischen Hunden mit 30-35 kg und Hunden, die schwerer als 50 kg waren, gefunden. Keine signifikanten Unterschiede gab es zwischen Hunden mit 20-25 kg und 40-45 kg Körpergewicht. In klinischen Studien scheinen die vertikalen Kräfte der Vorderbeine also zwischen verschiedenen schweren Patienten verglichen werden zu können, sofern keine Riesenrassen gemessen werden.

Bei der **FzH** (Abb. 27) gab es in den Gewichtsgruppen zwei Ausreisser in der Mitte. Die Hunde mit 35-40 kg zeigten die stärkste vertikale Kraft der Hinterbeine von allen Gewichtsklassen, die Hunde mit 40-45 kg die kleinste vertikale Kraft. Signifikante Unterschiede wurden so auch zwischen diesen beiden Gruppen und den jeweils leichtesten, resp. schwersten Hunden nachgewiesen. Wenn man diese Daten berücksichtigt, dürften in klinischen Studien die vertikale Kraft der Hinterbeine von Hunde mit 35-40 kg nicht mit derjenigen von Hunden von 40-45 kg Körpergewicht verglichen werden. Hunde diese beiden Gewichtskategorien sind aber häufig vertreten, wenn zum Beispiel Hüftgelenks- oder Knieprobleme klinisch evaluiert werden, was den Vergleich von verschiedenen Studien schwierig macht.

Die Hunde dieser beiden Gruppen wurden näher betrachtet, um einen Grund für die Abweichung von den anderen Gewichtsklassen zu finden. In der Gruppe von 35-40 kg KGW waren vier Barsois vorhanden. Da Barsois höhere FzH-Werte haben als andere Hunderassen, wurde die Berechnung ohne diese vier Hunde erneut durchgeführt. Die Unterschiede zwischen diesen beiden Gewichtsruppen blieben jedoch signifikant. Auch die morphometrischen Messungen und das Geschlecht der Tiere beeinflussen die Werte von FzH in diesen zwei Gruppen nicht. Eine grössere Anzahl von Hunden zwischen 35 bis 45 kg sollten gemessen werden, um die in der vorliegenden Studie erhaltenen Daten zu bestätigen.

Die Hunde der Gruppen der Gewichtskategorien 5 und 6 wurden näher betrachtet, um einen möglichen Grund für die unerwarteten Abweichungen zu finden. In der Gruppe 5, mit den hohen FzH-Werten waren zB. vier Barsois vertreten, welche prozentual eine hohe Belastung der Hintergliedmassen aufweisen. Gruppe 6 wies eher Hunde, wie Rottweiler oder Landseer auf, welche eher die Vordergliedmassen belasten. Andere Rassen und Mischlinge waren in beiden Gruppen vertreten. Diese wiesen in Gruppe 5 einen deutlich höheren FzH Wert auf, als in Gruppe 6 (Tab. 11). Allerdings konnte mittels Chi-Quadrat-Test kein Einfluss dieser Rassen auf die FzH-Werte ermittelt werden: Auch nach Ausschluss von Barsois, Landseer, Leonbergern und Rottweiler war noch ein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 5 und 6 vorhanden. Das gleiche wurde nach Ausschluss von den Hunden der anderen Rassen und der Mischlinge beobachtet. Somit hat die Rasseverteilung in den beiden Gruppen keinen Einfluss auf die Resultate gehabt.

T-tests zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen 5 und 6 in Bezug auf die Widerristhöhe, Beckenhöhe, Körperlänge und BMI. Die einzige signifikante Unterschied zwischen den Gruppen 5 und 6 war die prozentuale Belastung der Hinterbeine. Hunde der Gruppe 5 hatten eine signifikante höhere prozentuale Belastung der Hinterbeine als Hunde der Gruppe 6 ($p = 0,04$). Mit Hilfe der Varianzanalyse (ANOVA) zeigte sich, dass wenn man den BMI als Covariate zur Gewichtsruppe hinzunimmt, der BMI einen signifikanten Einfluss auf die FzH hatte ($p=0.04$), während das Körpergewicht keine signifikante Rolle mehr spielte ($p=0.06$). Daraus kann man folgern, dass der BMI in diesen zwei Gewichtsruppen den grösseren Einfluss als das Körpergewicht auf die FzH hat.

Rasse-Kategorie	GKG	Tieren	FzH-Mittelwert
Andere Rasse	5	1	82,69
Andere Rasse	6	1	64,98
Barsoi	5	4	83,30
BSH	6	2	73,88
BSH	6	4	68,63
Deutsche Dogge	6	1	70,33
DSH	6	2	69,48
Golden Retriever	5	1	75,77
Labrador	5	1	73,35
Landseer	6	2	67,18
Leonberger	6	1	67,05
Mischling	5	1	85,40
Mischling	6	1	65,74
Rhodesian Ridgeback	5	2	78,67
Rhodesian Ridgeback	6	1	74,21
Rottweiler	5	4	70,35
Rottweiler	6	2	60,50
SRT	6	2	66,70
Total	5+6	33	72,16

Tab. 11: FzH-Mittelwert und Anzahl der Tieren in den GKG 5 und 6 in den verschiedenen Rasse-Kategorien

Der IzV und der IzH stiegen im Verhältnis zum Gewicht linear an. Signifikante Unterschiede des **IzV** wurden ab Gewichtsunterschieden von 20 kg Körpergewicht beobachtet (Abb. 28). Zum Beispiel hatten Hunde mit 20-25 kg signifikant kleinere Impulse als Hunde über 40 kg, und Hunde mit 30-35 kg signifikant kleinere Impulse als Hunde über 50 kg.

Beim **IzH** wurde eine noch stärkere Gewichtsabhängigkeit gefunden. Hier gab es bereits signifikante Unterschiede ab Gewichtsunterschieden von 10 bis 15 kg (Abb. 29). Zum Beispiel hatten Hunde leichter als 20 kg signifikant kleinere Impulse als Hunde über 30 kg Körpergewicht, Hunde mit 20-25 kg Körpergewicht kleinere Impulse als Hunde über 35 kg, Hunde mit 25 bis 30 kg kleinere Impulse als Hunde über 35 kg, und Hunde mit 30 bis 35 kg signifikant kleinere Impulse als Hunde über 50 kg.

Die Einflüsse des Gewichtes auf die einzelnen Bodenreaktionskräfte sind in Tabelle 12 noch einmal zusammengefasst. Insgesamt scheinen die Bodenreaktionskräfte der Hinterbeine eine stärkere Abhängigkeit vom Körpergewicht zu haben, als die Bodenreaktionskräfte der Vorderbeine.

Bodenreaktionskraft	Einflüsse des Gewichtes
FzV	Signifikante Unterschiede bei Hunden über 50 kg KGW
FzH	Signifikante Unterschiede zwischen 35-40 kg und 40-45 kg KGW
IzV	Gewichtsunterschiede ab 20 kg KGW Unterschied signifikant
IzH	Gewichtsunterschiede ab 10 kg KGW Unterschied signifikant

Tab. 12: Einfluss des Gewichtes auf die einzelnen Bodenreaktionskräfte.

5.4. Rasse und Bodenreaktionskräfte

Wie gross ist der Einfluss der Rasse auf die Bodenreaktionskräfte? Gibt es Rassen, die signifikant andere Bodenreaktionskräfte aufweisen als andere Rassen?

Der signifikante Einfluss der Rassen auf die Bodenreaktionskräfte ist sicher zum Teil gewichtsbedingt. Schwerere Rassen zeigten eher eine kleinere FzV und FzH und eine grössere IzV und IzH . Dieser Trend war aber nicht durchgehend zu beobachten. Zum Beispiel hatten die eher schwereren Barsois und Irischen Wolfshunde von allen Rassen die grössten vertikalen Kräfte in den Hintergliedmassen, und die schweren Molosser die drittgrösste vertikale Kraft in den Vordergliedmassen. Dies kann nicht allein mit dem Körpergewicht erklärt werden, daher muss angenommen werden, dass der rassetypische Körperbau und das Bewegungsmuster auch einen Einfluss auf die Bodenreaktionskräfte haben. Vor allem vier Rassen haben viele signifikante Unterschiede im Vergleich zu anderen Rassen gezeigt, die Deutschen Doggen, die Leonberger, die Barsois und die Irischen Wolfshunde (Anhang 8).

Die **Deutsche Doggen** und die **Leonberger** zeigten signifikante Unterschiede im Vergleich zu viele andere Rassen für die FzV , welche deutlich kleiner war als die Vorderbeinbelastung anderer Rassen (Anhang 8).

Die **Irischen Wolfshunde** waren unter den grössten Hunde dieser Arbeit. Zusammen mit den **Barsois** zeigten sie signifikant höhere FzH -Werte und IzH -Werte im Vergleich zu vielen anderen Rassen. Obwohl die Barsois nur mittelschwere Hunde sind, hatten sie den höchsten IzH aller Rassegruppen. Barsoi belasten also die Hinterbeine stärker im Vergleich zu den anderen Rassen. Diese Unterschiede können mit dem Körperbau und der Funktion windhundartiger Hunde erklärt werden. Windhunde haben stark entwickelte Muskeln im Bereich der Hinterbeine, um grossen Schub von hinten zu leisten und eine hohe Geschwindigkeit beim Lauf aufzuweisen.

Auch bei Laufhunden und Border Collies wurde eine nicht durch das Körpergewicht erklärbare Abweichung gefunden. Bei beiden Rassen wurde eine niedrige FzV gemessen, obwohl sie das niedrigste Körpergewicht aller Rassengruppen aufwiesen.

Um den Unausgeglichheiten entgegenzuwirken, die aus der Folge der Unterschiede des Gewichtes, der Grösse und des Alters der Tieren auftraten, wurde die prozentuale Vorderbein- und Hinterbeinbelastung in den verschiedenen Rassengruppen berechnet. Rottweiler, Rhodesian Ridgeback und Molosser zeigten eine stärkere prozentuale Belastung der Vorderbeine. Windhundartige, Border Collie, Deutsche Dogge und Laufhunde waren die einzigen Rassen mit einer prozentualen Verteilung des Gewichtes auf die Vorderbeine, die kleiner als 60 Prozent war (Abb. 15).

Zusammenfassend kann man sagen, dass Hunderassen, wie die Windhundartigen und die Border Collies, die auf Schnelligkeit hin gezüchtet wurden und einen starken Hinterbeinschub brauchen, die

höchsten vertikalen Bodenreaktionskräfte und die höchste prozentuale Belastung der Hintergliedmassen aufweisen. Umgekehrt zeigten Rassen, die einen dominanten Charakter besitzen, zum Teil aggressiver sind und eher für den Kampf gezüchtet wurden, wie Rottweiler, Rhodesian Ridgeback und Molosser, stärkere Bodenreaktionskräfte und eine höhere prozentuale Belastung der Vorderbeine.

5.5. Welches sind die wichtigsten Parameter?

Da viele der untersuchten Variablen einen Einfluss auf die Bodenreaktionskräfte zeigten wurde versucht, mit Hilfe der multiplen linearen Regression zu ermitteln, welches die wichtigsten Faktoren sind. Mit Hilfe der erstellten Formeln (Tab. 13), sollte es möglich sein, orthopädisch gesunde von lahmen Tieren mit einer gewissen Sicherheit zu unterscheiden. Die kategoriellen Daten konnten hierfür allerdings nicht verwendet werden. Diese Formel können aber nur als Anhaltspunkt dienen, sie sind kein *Cut-off*-Wert. Jedes Labor muss deswegen trotzdem seinen Normalbereich messen.

Insgesamt haben das Gewicht und die Grösse der Hunde den Haupteinfluss auf die Bodenreaktionskräfte, mit Ausnahme des IzH, wo die Beckenhöhe und die Körperlänge die tragende Rolle spielen. Der Korrelationskoeffizient (R^2) der vier Formeln variiert zwischen 0.45 und 0.85. Fz korreliert sehr gut mit den Parameter ($R^2 \leq 0,8$), Fz nur mässig.

	Formel	Variablen	R^2
FzV	$FzV = 126.24 - 0.33x + 0.45y - 0.46z \pm 0.53$	<ul style="list-style-type: none"> • x = Gewicht (kg) • y = Körperlänge (cm) • z = Beckenhöhe (cm) 	0.50
FzH	$FzH = 70.60 - 0.25x + 0.31y - 0.11z \pm 0.32$	<ul style="list-style-type: none"> • x = Gewicht (kg) • y = Körperlänge (cm) • z = BMI 	0.45
IzV	$IzV = 15.78 + 0.12x - 0.03y \pm 0.02$	<ul style="list-style-type: none"> • x = Gewicht (kg) • y = BMI 	0.80
IzH	$IzH = 2.24 + 0.04x + 0.09y \pm 0.03$	<ul style="list-style-type: none"> • x = Beckenhöhe (cm) • y = Körperlänge (cm) 	0.85

Tab. 13: Formeln für die Beschreibung der vertikalen Bodenreaktionskräfte mit mehreren Variablen

Beispiel. Ein Hund mit einem Körpergewicht von 40 kg, einer Wiederristhöhe und einer Beckenhöhe von 65 cm, einer Tierlänge von 70 cm und einem BMI von 100 müsste ungefähr die folgenden Werte haben: $FzV = 114.64 \pm 0.53$; $FzH = 71.30 \pm 0.32$; $IzV = 17.58 \pm 0.02$; $IzH = 11.14 \pm 0,03$.

5.6. Impact Peak

Das Vorhandensein eines Impact Peaks in den FzV bei manchen Hunden wurde bereits beschrieben [21, 23, 81]. Die Ursache und Bedeutung dieses Peaks wurde bisher aber nicht ermittelt. In dieser Arbeit wurde der Impact Peak auch im Bereich der Hinterbeine nachgewiesen.

Im Schritt geführte Hunde zeigen im Bereich der Vorder- und Hinterbeine eine typische M-förmige Graphikkurve mit zwei Spitzen (Abb. 4a) [18, 21, 41]. Die erste Spitze stellt den ersten Kontakt der Pfoten mit dem Boden in der frühen Plattenkontaktzeitphase dar. Die zweite Spitze repräsentiert den Fussspitzenkontakt und die propulsive Phase in der späten Plattenkontaktzeitphase. Das Minimum zwischen diesen zwei Phasen stellt der Fusskontakt dar, wo weniger Kraft ausgeübt wird. Bei trabenden Hunden entstehen diese zwei Spitzen normalerweise nicht, weil die Bewegung zu schnell ist und die M-Form in ein umgekehrtes U umgewandelt wird (Abb. 3 und Abb. 4b). Grosse Hunde laufen bei definierter Geschwindigkeit langsamer in Relation zu kleinen Hunden. Der Impact Peak könnte theoretisch bei langsamer Trabgeschwindigkeit einen verbleibender Rest der M-Form darstellen.

Die Beckenhöhe, die Widerristhöhe, die Tierlänge, das Gewicht und der IzV und der IzH beeinflussen signifikant die Entstehung eines IPV. Grössere Tiere und folglichweise Tiere mit einem grösseren Impuls scheinen eine Prädisposition für die Entstehung eines Impact Peaks zu haben. Die Rasse-Kategorie und die FzV hatten einen signifikanten Einfluss auf das Vorhandensein eines IPH (Tab. 5). Schwerere Rassen und Tieren mit einer grösseren Amplitude der FzV neigten zur Entstehung eines IPH.

Verschiedene Rassen zeigten eine Prädisposition für die Entwicklung eines Impact Peaks (Tab. 5). Zu einem Impact Peak in der Vorderbeinkurve neigten Belgische Schäferhunde, Bernhardiner, Labrador, Schwarzer Russischer Terrier und Landseer, zu einem Impact Peak in der Hinterbeinkurve auch die Belgischen Schäferhunde und Labrador, aber auch BSH, DSH, Golden Retriever und Rhodesian Ridgeback. Mit der Ausnahme der Belgische Schäferhunde scheinen grosse und mittelgrosse Rassen eine Prädisposition für die Entstehung eines Impact Peak zu haben.

6. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das Körpergewicht und der Körperbau von Hunden verursachen eine Variabilität der vertikalen Bodenreaktionskräfte der Vorder- und Hintergliedmassen. Abgesehen vom Alter der Tiere hatten alle erhobenen Daten einen Einfluss auf einen, mehrere oder alle der vier erhobenen vertikalen Bodenreaktionskräfte. Die Impulse zeigten generell eine bessere Korrelation mit den meisten Parametern als die vertikalen Kräfte. Insgesamt scheint das Körpergewicht die grösste Rolle zu spielen. Allerdings konnten nicht alle Unterschiede zwischen den Hunden mit dem Körpergewicht erklärt werden. Vor allem die Fz der Hinterbeine unterlag gewichtsunabhängigen Schwankungen im Bereich der mittleren Gewichtgruppen. Diese Schwankungen kommen wahrscheinlich durch Unterschiede in der prozentualen Belastung der Hinter-/ Vorderbeine zustande. Das heisst, dass auch die Morphometrie der Hunde, wie Beinlänge, Körperschwerpunkt oder Körperlänge die Bodenreaktionskräfte beeinflussen. Die Morphometrie der Hunde bestimmt, wieviel Gewicht prozentual auf die Vorder-, respektive Hintergliedmassen verteilt wird, und hat sicher auch einen Einfluss auf Schrittlänge und Gelenkwinkelung während des Gangzyklus. Diese Parameter können mit der Kraftmessplatte nicht erfasst werden. Hierfür wäre eine kinematische Ganganalyse notwendig.

Die Herstellung einer Datenbank für orthopädisch gesunde Hunde, die möglichst viele dieser den Patienten betreffenden Variablen berücksichtigt, und die Unterscheidung von orthopädisch gesunden von lahmen Tieren mit einer gewissen Sicherheit erlaubt war wegen den vielen Einflüssen schwierig. Anhand der multiplen linearen Regression konnten aber die wichtigsten Parameter für die einzelnen Bodenreaktionskräfte ermittelt und in Formeln zusammengefasst werden. Diese Daten können aber nur als Anhaltspunkt für Normalwerte dienen. Der Vergleich von verschiedenen Hunden untereinander bleibt daher schwierig, und Vergleiche von Kraftmessplatten Resultaten zwischen verschiedenen Hundepopulationen müssen mit Vorsicht interpretiert werden.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der Arbeit war die Evaluation des Einflusses verschiedener Variablen (Alter, Geschlecht, Gewicht, Rasse, Tierlänge, Widerristhöhe, Beckenhöhe und BMI) auf die vertikale Bodenreaktionskräfte (FzV, FzH, IzV und IzH).

Hierfür wurden 129 orthopädisch gesunde Hunde im Trab mit einer Geschwindigkeit von 1.85 m/s bis 2.15 m/s und einer Beschleunigung kleiner als $\pm 0.3 \text{ m/s}^2$ über die Kraftmessplatte geführt. Die orthopädische Gesundheit der Hunde wurde anhand einer komplette orthopädische Untersuchung und der Berechnung des SI bestätigt.

Dreiundfünfzig Rüden und 76 Hündinnen wurden untersucht. Das durchschnittliches Alter betrug 4.07 ± 0.25 Jahre und das durchschnittliche Körpergewicht 39.6 ± 1.27 kg. Die Widerristhöhe lag im Schnitt bei 65.48 ± 0.84 cm, die Beckenhöhe bei 64.96 ± 0.84 cm und die Tierlänge bei 68.66 ± 0.84 cm. Der mittlere BMI betrug 90.18 ± 1.60 . Einunddreissig verschiedene Rassen wurden untersucht. Die Bodenreaktionskraft der Vorderbeine betrug durchschnittlich 114.21 ± 0.89 % KGW, diejenige der Hinterbeine 72.17 ± 0.65 % KGW. Der durchschnittliche Impuls der Vorderbeine war 18.05 ± 0.16 % KGW x s, derjenige der Hinterbeine 10.51 ± 0.12 % KGW x s. Die prozentuale Verteilung des Körpergewichtes betrug im Schnitt 61.28 ± 0.22 %. Die Rasse, das Gewicht und der BMI zeigten einen signifikanten Einfluss auf alle vier Bodenreaktionskräfte (FzV, FzH, IzV und IzH). Insgesamt wurden bei den Hinterbeinen, im Vergleich zu den Vorderbeinen, bereits ab kleineren Gewichtsunterschieden Änderungen der Bodenreaktionskräfte beobachtet. Bei gewissen Hunderassen scheint auch der Körperbau eine wichtige Rolle auf die Grösse der Bodenreaktionskräfte zu spielen. Die Widerristhöhe, die Beckenhöhe und die Körperlänge hatten einen Einfluss auf FzV, IzV und IzH, das Geschlecht zeigte nur einen signifikanten Einfluss auf IzV signifikant. Das Alter und die Differenz Widerristhöhe minus Beckenhöhe sind die einzigen Faktoren, die keinem signifikanten Einfluss auf die vertikalen Bodenreaktionskräfte gezeigt haben.

Die Bodenreaktionskräfte sind von verschiedenen Variablen abhängig, und Vergleiche von Daten zwischen unterschiedlichen Hundepopulationen sollten mit Vorsicht interpretiert werden.

8. SUMMARY

The goal of the study was to evaluate whether age, sex, breed, bodyweight, shoulder height, pelvic height, body length, and BMI influence the vertical ground reaction forces of the front- and hindlimbs in normal dogs.

A group of 129 sound dogs of different breeds and body weights was used. The absence of orthopedic disease was confirmed by a thorough clinical orthopedic evaluation, and by calculating a symmetry index of peak vertical forces between the paired limbs. The dogs were trotted over a force plate at a velocity of 1.85 m/s to 2.15 m/s. and with an acceleration/decceleration lower than $\pm 0.3 \text{ m/s}^2$.

Mean age of the dogs was 4.07 ± 0.25 years. Fifty-three of the dogs were male, and 76 were female. Thirty-one different dog breeds were included. Mean body weight was 39.6 ± 1.27 kg. Mean shoulder height was 65.48 ± 0.84 cm, mean pelvic height was 64.96 ± 0.84 cm, and mean body length was 68.66 ± 0.84 cm. The mean BMI was 90.18 ± 1.60 . The mean PVF was 114.21 ± 0.89 % BW for the frontlimbs, and 72.17 ± 0.65 % BW for the hindlimbs. The mean I of the frontlimbs was 18.05 ± 0.16 % BW x s. The mean I of the hindlimbs was 10.51 ± 0.12 % KGW x s. Bodyweight, dog breed, and BMI had a significant effect on all vertical ground reaction forces. Overall, ground reaction forces of the hindlimbs had a greater variability caused by differences in body weight, compared to the forelimbs. Some dog breeds often showed differences in ground reaction forces compared to other breeds, unrelated to body weight. These include for example Barsois, Great Danes, and others. Shoulder height, pelvic height, and dog length significantly influenced PVF and I of the frontlimbs and I of the hindlimbs. Male dogs had a trend to load rather the forelimbs than the hindlimbs compared to female dogs, but this was only significant for the I of the frontlimbs. Age, and the difference between shoulder and pelvic height did not influence the ground reaction forces.

Overall, many variables influence the vertical ground reaction forces obtained by force plate gait analysis. Comparison of force plate results between different populations of dogs should therefore be undertaken with caution.

9. ANHANG

Fall	Rasse-Kategorie	Gesch	Alter	Gew	Gew-Kat	W	B	L	W-B	BMI	FzV	FzH	IzV	IzH	PBV	PBH	IPV	IPH
1	Mischling	mk	3,68	20	1	55	57	54,7	-2	63,78	119,91	66,7	17,05	7,86	64,26	35,74	0	1
2	Mischling	w	1	21,4	2	58,2	58,8	58	-0,6	62,53	120,81	83,16	15,27	8,86	59,23	40,77	0	0
3	Labrador	mk	7,47	34	4	61,4	62	61,1	-0,6	89,31	115,9	68,44	17,09	9,42	62,87	37,13	1	1
4	Dalmatiner	m	6,13	27,4	3	60	57,5	58	2,5	79,38	127,77	66,39	17,21	8,27	65,81	34,19	0	0
5	Golden Retriever	w	7,74	28	3	58,2	56,4	54	1,8	85,28	106,63	66,42	16,39	9,49	61,62	38,38	0	1
6	Golden Retriever	m	5,13	34	4	58,7	57,5	70	1,2	100,72	124,45	72,11	19,38	9,4	63,31	36,69	0	0
7	Belgischer Schäferhund	wk	5,22	29,4	3	57	54,8	60	2,2	94,09	104	66,27	16,77	9,99	61,08	38,92	0	1
8	Mischling	wk	3,68	26	3	61	57	65	4	74,69	105,01	77,62	17,1	11,27	57,5	42,5	1	0
9	Labrador	m	10,5	35	5	60,1	62	67	-1,9	93,91	127,58	73,35	18,04	9,19	63,5	36,5	0	1
10	DSH	m	5,23	34	4	63	63	63,4	0	85,66	115,93	78,01	18,48	10,06	59,78	40,22	0	0
11	Border Collie	mk	2,98	22,7	2	58,5	56	55	2,5	69,26	115,04	80,68	14,88	8,82	58,78	41,22	0	0
12	Mischling	wk	5,5	28,5	3	56	57,4	60,6	-1,4	88,65	108,26	68,43	17,53	10,15	61,27	38,73	1	0
13	Mischling	wk	4,52	21	2	54	55,4	49,6	-1,4	70,19	106,44	69,18	15,08	9,03	60,61	39,39	0	0
14	Mischling	mk	3,5	33	4	59,5	60,6	62	-1,1	91,51	111,27	70,22	15,25	9,43	61,31	38,69	0	1
15	Andere Rasse	w	2,69	29	3	58,5	58	64	0,5	85,47	110,24	68,04	16,8	9,38	61,84	38,16	1	1
16	Andere Rasse	m	1,79	35,3	5	70,5	67	66,1	3,5	74,68	120,43	82,69	18,07	9,94	59,29	40,71	1	1
17	Dalmatiner	m	7,87	30,5	4	62	58,6	65,5	3,4	83,88	128,71	72,79	17,56	9,61	63,87	36,13	1	1
18	Leonberger	m	6,27	62,7	10	75,5	76,4	79	-0,9	108,7	101,03	54,02	21,41	11,28	65,16	34,84	1	1
19	Rhodesian Ridgeback	w	0,68	31	4	62,6	60	61,1	2,6	82,5	118,23	79,52	17,73	10,82	59,79	40,21	1	1
20	Rhodesian Ridgeback	wk	3,25	36	5	63	62,8	66,8	0,2	90,99	121,89	74,14	17,77	10,16	62,18	37,82	0	1
21	DSH	mk	8,22	42,7	6	67	66	73,6	1	96,56	113,71	70	19,83	11,38	61,9	38,1	1	1
22	Golden Retriever	m	12,93	30,7	4	60	60,9	67	-0,9	84,01	133,05	78,69	17,44	9,57	62,84	37,16	1	1
23	Mischling	mk	8,75	43,3	6	66,4	65,8	70,9	0,6	99,1	112,01	65,74	19,43	10,79	63,02	36,98	0	0
24	Molosser	w	0,93	49	7	64	67,1	68,5	-3,1	114,04	104,8	72,74	18,48	10,89	59,03	40,97	0	0
25	SRT	wk	7,05	43,3	6	64	66,5	69,8	-2,5	101,7	115,19	69,6	18,36	11,3	62,33	37,67	0	0
26	Molosser	m	3,86	49	7	64,6	63,6	71	1	119,26	129,95	69,88	18,1	9,92	65,03	34,97	0	0
27	Landseer	w	6,5	49,9	7	66,7	69,9	75,9	-3,2	106,97	118,74	64,59	18,99	10,56	64,77	35,23	0	0
28	Mischling	mk	4,87	38	5	64	65,5	69	-1,5	90,64	119,16	85,4	17,92	10,89	58,25	41,75	1	0
29	Mischling	wk	5,59	21,4	2	55,3	55,1	57,2	0,2	70,23	118,01	75,45	16,6	8,8	61	39	1	1
30	Mischling	wk	2,14	28	3	57,8	57,9	64,2	-0,1	83,67	113,88	69,03	16,48	8,59	62,26	37,74	0	0
31	Molosser	wk	4,36	49,5	7	62	59,5	68	2,5	134,13	134,17	78,39	15,42	9,68	63,12	36,88	0	1
32	Rhodesian Ridgeback	m	1,57	40,6	6	67,4	66	68,8	1,4	91,26	131,39	74,21	19,74	9,79	63,91	36,09	0	0
33	Andere Rasse	m	8,02	40,2	6	59	60,1	62,4	-1,1	113,36	126,08	64,98	18,68	9,14	65,99	34,01	0	0
34	Mischling	wk	6,27	20,5	2	51,1	54	61,9	-2,9	74,23	112,45	80,82	14,17	9,06	58,18	41,82	0	0
35	Dalmatiner	w	1,87	26	3	59	59	56,6	0	74,69	120,39	75,43	15,54	8,49	61,48	38,52	0	0
36	Andere Rasse	wk	2,67	22	2	54,5	55	54,2	-0,5	73,39	99,79	64,91	19,89	10,83	60,59	39,41	1	0
37	Rhodesian Ridgeback	wk	8,41	30,5	4	62	61,8	67,8	0,2	79,6	142,55	76,58	20,03	10,7	65,05	34,95	0	1
38	Mischling	mk	2,99	27	3	60	60,3	61,4	-0,3	74,63	117,53	69,07	16,7	7,97	62,99	37,01	0	0
39	Golden Retriever	wk	2,95	32,5	4	56	57	56,5	-1	101,81	105,01	68,39	17,05	9,31	60,56	39,44	0	1
40	Rhodesian Ridgeback	w	4,82	34,2	4	60	57,5	64	2,5	99,09	112,31	63,76	19,7	10,09	63,79	36,21	0	1

Fall	Rasse-Kategorie	Gesch	Alter	Gew	Gew-Kat	W	B	L	W-B	BMI	FzV	FzH	IzV	IzH	PBV	PBH	IPV	IPH
41	Dalmatiner	w	7,71	20,2	2	50,4	49,2	52,8	1,2	81,45	126,76	79,72	15,54	8,36	61,39	38,61	0	0
42	Belgischer Schäferhund	wk	2,42	28,2	3	61,8	59,7	65,2	2,1	76,41	123,62	74,2	17,89	9,97	62,49	37,51	1	1
43	Rottweiler	m	8	49	7	62	61,5	68,5	0,5	128,51	109,53	75,76	16,57	11,36	59,11	40,89	0	1
44	SRT	m	2,18	51	8	72,4	72,5	71,2	-0,1	97,16	106,25	71,31	17,98	10,7	59,84	40,16	1	1
45	SRT	w	1,22	42	6	68,5	69	69,2	-0,5	88,86	97,03	63,8	17,3	10,78	60,33	39,67	1	0
46	Deutsche Dogge	wk	9,76	57	9	81,6	79,4	82,6	2,2	87,96	91,59	62,61	20,73	10,58	59,4	40,6	1	0
47	Deutsche Dogge	wk	4,93	51	8	82	78	76,3	4	79,69	83,29	65,22	21,04	12,78	56,08	43,92	1	0
48	Deutsche Dogge	wk	7,8	57	9	79,9	81,1	83,5	-1,2	87,96	96,83	70,14	21,66	11,83	57,99	42,01	1	0
49	Deutsche Dogge	w	0,56	41	6	68,8	72,2	71,6	-3,4	82,49	107,5	70,33	19,66	12,4	60,45	39,55	0	0
50	Deutsche Dogge	m	3,24	69	11	83,1	84	79	-0,9	98,85	90,95	68,29	22,83	12,24	57,12	42,88	0	0
51	Deutsche Dogge	m	2,75	62,2	10	81,1	76	75	5,1	100,81	105,68	71,14	19,3	10,43	59,77	40,23	0	0
52	Mischling	mk	9,49	46,5	7	72,8	69,3	80,9	3,5	92,11	114,36	65,06	18,21	10,6	63,74	36,26	1	1
53	Labrador	m	1,83	34,7	4	58,6	60	60,3	-1,4	98,68	123,99	69	15,83	8,12	64,25	35,75	1	1
54	Rhodesian Ridgeback	m	1,71	39,8	5	65,2	66,5	68,3	-1,3	91,78	132,33	83,2	19,03	10,09	61,4	38,6	0	1
55	Leonberger	m	2,69	58	9	77	74	81,5	3	101,75	106,48	61,71	19,6	11,36	63,31	36,69	1	1
56	Leonberger	wk	7,41	53	8	71,1	72,6	77,6	-1,5	102,66	97,35	60,93	20,29	11,73	61,51	38,49	0	0
57	Deutsche Dogge	m	0,58	50,5	8	75	79,6	73,6	-4,6	84,51	109,13	73,3	20,52	12,18	59,82	40,18	1	1
58	BSH	m	5,01	42	6	65	64,1	75	0,9	100,8	121,6	71,38	18,98	10,58	63,01	36,99	0	1
59	Andere Rasse	w	5,13	26	3	56,3	55	59,8	1,3	83,95	115,12	69,25	17,83	9,2	62,44	37,56	1	0
60	Andere Rasse	w	8,01	28	3	63,5	57	65,6	6,5	77,13	129,43	79,85	18,55	10,21	61,85	38,15	1	1
61	Leonberger	m	0,87	47,2	7	72,2	75,6	79	-3,4	86,43	108,29	68,75	18,78	11,95	61,17	38,83	0	0
62	Deutsche Dogge	w	3,02	51	8	78,5	74,5	81,9	4	87,15	112,18	72,7	21,08	12,74	60,68	39,32	0	1
63	Barsoi	m	0,96	35,5	5	73,8	75	75,8	-1,2	64,13	112,66	80,86	17,8	11,41	58,22	41,78	1	1
64	Belgischer Schäferhund	w	1,13	25,5	3	60,1	57,3	63,6	2,8	74,01	126,46	70,14	17,26	9,56	64,32	35,68	1	1
65	Deutsche Dogge	mk	4,89	66,4	10	83,6	83,8	81	-0,2	94,78	114,2	67,89	20,81	11,41	62,71	37,29	0	0
66	Deutsche Dogge	w	0,65	48,6	7	72,3	71,3	77,1	1	94,27	102,65	78,71	18,79	12,28	56,6	43,4	1	0
67	Deutsche Dogge	m	3,02	72	10	86	83,8	82,5	2,2	99,89	99,1	60,85	21,78	10,79	61,96	38,04	1	0
68	Deutsche Dogge	m	0,38	34	4	62,2	61,6	63,9	0,6	88,74	104,04	59,83	16,84	10,86	63,49	36,51	0	0
69	Deutsche Dogge	wk	1,99	58,6	9	75,5	69,3	81,3	6,2	111,79	107,74	72,71	19,27	11,58	59,7	40,3	0	1
70	Golden Retriever	mk	5,27	38,5	5	59,6	57,5	69,4	2,1	112,31	112	75,77	17,32	10,81	59,65	40,35	0	1
71	Landseer	w	1,64	40,4	6	71	69,3	75,3	1,7	82,1	122,34	68,34	18,95	11,25	64,16	35,84	1	0
72	BSH	wk	8,67	42,5	6	60,8	61	74,2	-0,2	114,59	102,99	62,81	17,69	10,91	62,12	37,88	0	0
73	BSH	w	4,52	39,5	5	58	59,5	68	-1,5	114,44	107,91	67,23	15,46	10,8	61,61	38,39	1	1
74	Belgischer Schäferhund	w	7,38	18,5	1	59,8	60,8	55,1	-1	50,88	120,73	78,72	13,16	8,86	60,53	39,47	1	1
75	BSH	m	7,51	59,6	9	64,2	57	75,3	7,2	162,29	110,63	66,79	18,33	11,59	62,36	37,64	0	1
76	BSH	wk	1,96	36	5	59,8	59,8	68,4	0	100,67	109,62	80,52	15,55	10,37	57,65	42,35	1	1
77	Deutsche Dogge	m	2,94	64,3	10	87	87	83,8	0	84,95	108,68	69,97	22,97	13,2	60,84	39,16	1	1
78	Andere Rasse	wk	9,13	24,8	2	66,4	65,3	68,5	1,1	57,19	123,49	76,01	17,12	10,56	61,9	38,1	0	1



Fall	Rasse-Kategorie	Gesch	Alter	Gew	Gew-Kat	W	B	L	W-B	BMI	FzV	FzH	IzV	IzH	PBV	PBH	IPV	IPH
79	Prische Wolfshund	w	0,99	56,5	9	82,4	82,4	78,5	0	83,21	111,42	74,38	18,93	10,73	59,97	40,03	0	0
80	Prische Wolfshund	w	5,57	57,7	9	81,3	78,2	85	3,1	90,72	119,38	87,15	19,43	12,86	57,8	42,2	0	0
81	Irische Wolfshund	w	0,33	31,5	4	63,4	63,6	67,4	-0,2	78,12	118,25	86,9	16,78	11,47	57,64	42,36	1	0
82	Irische Wolfshund	w	4,02	56	9	79	79	84,5	0	89,73	106,8	82,19	19,48	12,38	56,51	43,49	0	0
83	Irische Wolfshund	w	1,05	52,9	8	79,8	78,8	81,9	1	84,12	109,72	85,9	17,05	11,59	56,09	43,91	1	0
84	Belgischer Schäferhund	mk	4,49	27,3	3	62,6	58,4	59,8	4,2	74,59	119,63	73,08	18,08	9,66	62,08	37,92	1	0
85	Landseer	w	1,82	51,4	8	77	77,5	76	-0,5	86,13	108,99	60,06	19,55	11,48	64,47	35,53	0	0
86	Border Collie	m	2,76	21,8	2	54,8	56	58,9	-1,2	71,03	115,35	76,04	15,19	9,1	60,27	39,73	0	1
87	Bernhardiner	m	1,99	67	10	76	78,5	83,3	-2,5	112,27	116,05	73,53	21,8	11,3	61,21	38,79	1	0
88	Bernhardiner	w	5,94	63	10	69,2	72,8	82,7	-3,6	124,98	108,2	68,5	20,1	11,72	61,23	38,77	1	1
89	Barsoi	m	5,84	39,6	5	79	74,6	79	4,4	67,14	114,81	81,44	17,95	12,29	58,5	41,5	0	1
90	Barsoi	m	6,84	36,4	5	81,9	77,9	77,5	4	57,02	124,69	83,34	18,85	12,35	59,94	40,06	1	0
91	Barsoi	wk	4,23	31,4	4	74,8	71,8	72,4	3	58,44	120,21	95,76	17,19	12,49	55,66	44,34	1	0
92	Barsoi	wk	7,05	39,4	5	71,4	74,4	76,2	-3	74,14	103,99	87,55	16,2	12,28	54,29	45,71	0	0
93	Bernhardiner	w	0,49	33,4	4	63,6	66,4	69,2	-2,8	79,05	116,43	62,76	18,31	11,65	64,97	35,03	1	1
94	Bernhardiner	wk	5,94	78	10	75,5	76	88,1	-0,5	135,93	101,22	75,94	20,72	12,61	57,13	42,87	1	0
95	Bernhardiner	w	3,9	61	10	72	68,5	73,3	3,5	123,61	110,49	74,77	18,54	10,88	59,64	40,36	0	0
96	Deutsche Dogge	wk	5,57	58	9	79,6	81	75,4	-1,4	89,95	109,91	78,26	20,16	11,74	58,41	41,59	1	1
97	Rottweiler	m	1,45	43,7	6	68,2	67,3	75,4	0,9	95,21	120,96	57,66	19,68	10,01	67,72	32,28	0	0
98	Rottweiler	w	1,45	40	5	60,4	63	68,4	-2,6	105,07	112,18	74,09	17,19	10,55	60,23	39,77	0	0
99	Rottweiler	mk	1,45	43	6	67,5	62	72,7	5,5	102,56	124,61	63,33	18,91	10,54	66,3	33,7	0	0
100	Rottweiler	w	1,45	36,4	5	61	59,9	67	1,1	99,61	122	71,24	17,49	9,8	63,14	36,86	0	0
101	Rottweiler	w	5,46	38,6	5	61	61,8	66,5	-0,8	102,39	115,31	71,05	17,32	10,27	61,87	38,13	0	1
102	Rottweiler	w	1,45	34	4	57,7	59,2	58	-1,5	99,52	113,15	63,72	17,29	9,37	63,97	36,03	0	0
103	Deutsche Dogge	w	1,96	61	10	83	81	77	2	90,72	106,11	73,88	20,2	13,24	58,95	41,05	1	1
104	Laufhund	m	3,56	20,7	2	52,9	51,5	54,3	1,4	75,97	112,32	70,67	18,25	9,37	61,38	38,62	0	0
105	Rottweiler	m	1,85	45,5	7	67	62,4	69,8	4,6	108,69	115,32	62,51	16,96	9,48	64,85	35,15	0	0
106	Rottweiler	w	1,1	36,5	5	60	56,8	67,2	3,2	107,02	123,26	65,04	18,23	10,88	65,46	34,54	0	1
107	Andere Rasse	w	3,91	20,9	2	51,1	48,9	54,3	2,2	83,6	122,41	76,27	16,05	9	61,61	38,39	1	1
108	Andere Rasse	w	1,72	18	1	50	48,7	55,4	1,3	73,91	123,19	86,58	15,2	8,93	58,73	41,27	0	0
109	DSH	m	1,94	41	6	63,3	63,4	68,1	-0,1	102,16	115,37	68,96	17,73	11,04	62,59	37,41	0	1
110	Landseer	m	1,85	64,5	10	82,5	83,8	85	-1,3	93,29	104,02	62,68	21,23	13,26	62,4	37,6	1	0
111	Border Collie	w	2,18	13,6	1	51	49,5	54,5	1,5	53,86	115,71	80,16	14,39	8,5	59,07	40,93	0	0
112	DSH	w	0,72	23	2	55,6	54,6	62,5	1	75,76	133,02	79,12	17,2	9,65	62,7	37,3	1	1
113	BSH	w	8,36	44,5	6	67	64,8	73,6	2,2	102,47	99,29	63,35	18,33	11,5	61,05	38,95	1	1
114	BSH	m	1,55	44,5	6	65	63,3	72	1,7	108,14	128,23	76,97	18,36	11,34	62,49	37,51	1	1
115	Barsoi	w	0,95	33	4	73,2	70,2	74,9	3	64,19	105,18	84,95	17,63	12,19	55,32	44,68	0	0
116	Landseer	m	1,69	56,5	9	73,8	75,4	74,8	-1,6	101,52	113,44	73,77	19,94	11,48	60,59	39,41	1	0
117	Laufhund	w	3,98	17,9	1	51,8	51,5	52,4	0,3	67,1	109,48	79,21	16,22	8,76	58,02	41,98	0	0
118	Landseer	m	1,7	51	8	68,8	71,1	73,7	-2,3	104,23	121,05	67,46	19,43	10,69	64,21	35,79	1	0
119	Andere Rasse	wk	2,32	14,7	1	48,5	50,3	52,6	-1,8	60,24	121,7	75,02	14,78	7,95	61,87	38,13	0	1
120	Leonberger	w	2,57	55,4	9	69,9	72,8	74,4	-2,9	108,82	95,87	60,91	17,96	11,89	61,15	38,85	0	0
121	Leonberger	w	1,53	44	6	67	67,8	72,9	-0,8	96,86	109,25	67,05	18,88	11,09	61,97	38,03	0	0
122	Landseer	w	4,99	44	6	67	66,4	74,2	0,6	98,9	104,02	66,02	17,92	11,93	61,17	38,83	1	0

Fall	Rasse-Kategorie	Gesch	Alter	Gew	Gew-Kat	W	B	L	W-B	BMI	FzV	FzH	IzV	IzH	PBV	PBH	IPV	IPH
123	Landseer	wk	6,57	48,8	7	66,7	66,8	73	-0,1	109,53	109,31	62,89	17,12	10,87	63,48	36,52	0	1
124	Leonberger	w	9,67	54,9	8	70,1	72,5	78,2	-2,4	107,99	97,73	64,18	19,34	12,86	60,36	39,64	1	0
125	Mischling	wk	0,87	15,9	1	49,9	49,6	55	0,3	64,24	128,24	81,51	16,59	8,75	61,14	38,86	0	1
126	Andere Rasse	m	0,62	19,9	1	51,5	51,4	53	0,1	75,18	131,76	70,53	16,71	8,54	65,13	34,87	0	0
127	Landseer	m	1,7	48	7	71,3	71	77	0,3	94,82	120,04	69,55	19,86	11,19	63,31	36,69	1	0
128	Laufhund	wk	3,36	13,4	1	47,4	47	48,4	0,4	60,15	112,52	75,04	15,73	8,2	59,99	40,01	0	0
129	Mischling	wk	11,8	13,7	1	41,7	42,1	40,6	-0,4	78,04	126,92	76,06	13,96	7,37	62,53	37,47	0	0

Anhang 1: Daten der 129 Hunde. Gesch = Geschlecht, Gew-Kat = Gewicht-Kategorie, W = Widerrist, B = Beckenhöhe, L = Tierlänge, W-B = Widerristhöhe minus Beckenhöhe, BMI = Body Mass Index, FzV = vertikale Bodenreaktionsspitzenkraft im Bereich der Vorderbeine, FzH = vertikale Bodenreaktionsspitzenkraft im Bereich der Hinterbeine, IzV = vertikaler Impuls im Bereich der Vorderbeine, IzH = vertikaler Impuls im Bereich der Hinterbeine, PBV = prozentuale Belastung der Vorderbeine, PBH = prozentuale Belastung der Hinterbeine, IPV = Impact Peak im Bereich der Vorderbeine, IPH = Impact Peak im Bereich der Hinterbeine, m = männlich, mk = männlich-kastriert, w = weiblich, wk = weiblich-kastriert.

Rasse		Gewicht (kg)	Widerristhöhe (cm)	Beckenhöhe (cm)	Tierlänge (cm)	BMI
Andere Rasse	Min	14.7	48.5	48.7	52.6	57.19
	Max	40.2	70.5	67	68.5	113.36
	Mittel	25.34 ± 2.27	57.25 ± 2.16	56.06 ± 1.88	59.63 ± 1.79	78.01 ± 4.45
Barsoi	Min	31.4	71.4	70.2	72.4	57.02
	Max	39.6	81.9	77.9	79	74.14
	Mittel	35.88 ± 1.35	75.68 ± 1.62	73.98 ± 1.10	75.97 ± 0.92	64.20 ± 2.53
Belgische Schäferhunde	Min	18.5	57	54.8	55.1	50.88
	Max	29.4	62.6	60.8	65.2	94.09
	Mittel	25.78 ± 1.93	60.26 ± 0.97	58.2 ± 1.04	60.74 ± 1.75	73.99 ± 6.87
BSH	Min	36	58	57	68	100.67
	Max	59.6	67	64.8	75.3	162.29
	Mittel	44.09 ± 2.82	62.83 ± 1.25	61.36 ± 1.07	72.36 ± 1.15	115.17 ± 9.87
Bernhardiner	Min	33.4	63.6	66.4	69.2	79.05
	Max	88.1	33.4	63.6	66.4	135.93
	Mittel	60.48 ± 7.38	71.26 ± 2.28	72.44 ± 2.25	79.32 ± 3.49	64.72 ± 5.45
Border Collie	Min	13.6	51	49.5	54.5	53.86
	Max	22.7	58.5	56	58.9	71.03
	Mittel	19.37 ± 2.90	54.77 ± 2.17	53.83 ± 2.17	56.13 ± 1.39	114.77 ± 8.24
Dalmatiner	Min	20.2	50.4	49.2	52.8	74.69
	Max	30.5	62	59	65.5	83.88
	Mittel	26.02 ± 2.16	57.85 ± 2.56	56.08 ± 2.31	58.23 ± 2.66	79.85 ± 1.95
Deutsche Dogge	Min	34	62.2	61.6	63.9	79.69
	Max	72	87	87	83.8	111.79
	Mittel	56.35 ± 2.52	78.7 ± 1.64	77.73 ± 1.65	77.84 ± 1.32	91.53 ± 2.95
DSH	Min	23	55.6	54.6	62.5	75.76
	Max	42.7	67	66	73.6	102.16
	Mittel	35.17 ± 4.47	62.23 ± 2.39	61.75 ± 2.47	66.9 ± 2.55	90.03 ± 5.86
Golden Retriever	Min	28	56	56.4	54	84.01
	Max	38.5	60	60.9	70	112.31
	Mittel	32.74 ± 1.75	58.5 ± 0.70	57.86 ± 0.79	63.38 ± 3.38	96.83 ± 5.37
Irische Wolfshunde	Min	31.5	63.4	63.6	67.4	78.12
	Max	57.7	82.4	82.4	85	90.72
	Mittel	50.92 ± 4.92	77.18 ± 3.50	76.4 ± 3.28	79.46 ± 3.23	85.18 ± 2.31
Labrador	Min	34	58.6	60	60.3	89.31
	Max	35	61.4	62	67	98.68
	Mittel	34.57 ± 0.30	60.03 ± 0.81	61.33 ± 0.67	62.8 ± 2.11	93.96 ± 2.70
Landseer	Min	40.4	66.7	66.4	73	82.10
	Max	64.5	82.5	83.8	85	109.53
	Mittel	50.50 ± 2.32	71.64 ± 1.79	72.36 ± 1.87	76.1 ± 1.19	97.50 ± 3.09
Laufhunde	Min	13.4	47.4	47	48.4	60.15
	Max	20.7	52.9	51.5	54.3	75.97
	Mittel	17.33 ± 2.13	50.7 ± 1.68	50 ± 1.50	51.7 ± 1.74	67.74 ± 4.58
Leonberger	Min	44	67	67.8	72.9	86.43
	Max	62.7	77	76.4	81.5	108.82
	Mittel	53.60 ± 2.39	71.83 ± 1.30	73.1 ± 1.06	77.51 ± 1.11	101.89 ± 3.07
Mischlinge	Min	13.7	41.7	42.1	40.6	62.53
	Max	46.5	72.8	69.3	80.9	99.10
	Mittel	26.95 ± 2.49	57.51 ± 1.89	57.72 ± 1.72	60.73 ± 2.42	78.55 ± 3.02

Molossier	Min	49	62	59.5	68	114.04
	Max	49.5	64.6	67.1	71	134.13
	Mittel	49.17 ± 0.17	63.53 ± 0.79	63.4 ± 2.20	69.17 ± 0.93	122.47 ± 6.02
Rhodesian Ridgeback	Min	30.5	60	57.5	61.1	79.60
	Max	40.6	67.4	66.5	68.8	99.09
	Mittel	35.35 ± 1.75	63.37 ± 1.06	62.43 ± 1.42	66.13 ± 1.22	89.20 ± 2.88
Rottweiler	Min	34	57.7	56.8	58	95.21
	Max	49	68.2	67.3	75.4	128.51
	Mittel	40.74 ± 1.63	62.76 ± 1.27	61.54 ± 0.96	68.17 ± 1.60	105.40 ± 3.20
SRT	Min	42	64	66.5	69.2	88.86
	Max	51	72.4	72.5	71.2	101.70
	Mittel	45.43 ± 2.81	68.3 ± 2.43	69.33 ± 1.74	70.07 ± 0.59	95.91 ± 3.76

 Fünf maximale Werte
  Fünf minimale Werte

Anhang 2: minimale, maximale und Mittelwert des Gewichts (kg), der morphometrischen Parameter (cm) und des BMIs (kg/m²) bei den verschiedenen Rassengruppen.



		Gewicht (kg)	Widerristhöhe (cm)	Beckenhöhe (cm)	Tierlänge (cm)	BMI (kg/m ²)
Männliche Tiere	Minimum	19.90	51.50	51.40	53.00	53.86
	Maximum	72.00	87.00	87.00	85.00	114.04
	Mittelwert	42.84 ± 1.87	67.54 ± 1.22	66.84 ± 1.25	70.27 ± 1.15	93.24 ± 2.44
Weibliche Tiere	Minimum	13.40	41.70	42.10	40.60	50.88
	Maximum	78.00	83.00	82.40	88.10	162.29
	Mittelwert	37.35 ± 1.68	64.04 ± 1.12	63.65 ± 1.11	67.54 ± 1.17	88.05 ± 2.10
Kastrierte Tiere	Minimum	13.40	41.70	42.10	40.60	50.88
	Maximum	78.00	83.60	83.80	88.10	162.29
	Mittelwert	36.19 ± 2.26	63.32 ± 1.49	62.81 ± 1.43	66.64 ± 1.59	87.23 ± 2.82
Nicht kastrierte Tiere	Minimum	13.60	50.00	48.70	52.40	58.44
	Maximum	72.00	87.00	87.00	85.00	135.93
	Mittelwert	41.37 ± 1.51	66.59 ± 1.00	66.08 ± 1.02	69.70 ± 0.96	91.71 ± 1.93
Männliche Tiere	Minimum	19.90	51.50	51.40	53.00	62.53
	Maximum	72.00	87.00	87.00	85.00	114.04
	Mittelwert	44.71 ± 2.15	68.54 ± 1.45	67.96 ± 1.48	71.32 ± 1.27	94.77 ± 2.96
Männlich-kastrierte Tiere	Minimum	20.00	55.00	56.00	54.70	53.86
	Maximum	66.4	83.60	83.80	81.00	112.27
	Mittelwert	37.11 ± 3.38	64.54 ± 2.06	63.40 ± 2.03	67.04 ± 2.44	88.55 ± 3.90
Weibliche Tiere	Minimum	13.60	50.00	48.70	52.40	58.44
	Maximum	63.00	83.00	82.40	85.00	135.93
	Mittelwert	38.41 ± 2.03	64.86 ± 1.34	64.41 ± 1.37	68.27 ± 1.39	88.99 ± 2.49
Weiblich-kastrierte Tiere	Minimum	13.40	41.70	42.10	40.60	50.88
	Maximum	78.00	82.00	82.10	88.10	162.29
	Mittelwert	35.81 ± 2.91	62.84 ± 1.94	62.56 ± 1.86	66.48 ± 2.03	86.68 ± 3.69
Total	Minimum	13.40	41.70	42.10	40.60	50.88
	Maximum	78.00	87.00	87.00	88.10	162.29
	Mittelwert	39.60 ± 1.27	65.48 ± 0.84	64.96 ± 0.84	68.66 ± 0.84	90.18 ± 1.60

Anhang 3: Minimale, maximale und Mittelwert des Gewichtes (kg), der Widerristhöhe (cm), der Tierlänge (cm) und des BMIs (kg/m²) bei männlichen und weiblichen Tieren.

		Tierlänge (cm)	Widerristhöhe (cm)	Beckenhöhe (cm)	Gewicht (kg)	BMI (kg/m ²)	Widerristhöhe - Beckenhöhe (cm)
Tierlänge	a	X	0.90	0.89	0.59	0.23	0.19
	R ²	X	0.81	0.79	0.79	0.20	< 0.01
Widerristhöhe	a	0.90	X	0.97	0.56	0.12	0.52
	R ²	0.81	X	0.94	0.72	0.05	0.01
Beckenhöhe	a	0.89	0.97	X	0.56	0.11	-0.48
	R ²	0.79	0.94	X	0.73	0.05	0.01
Gewicht	a	1.35	1.29	1.30	X	0.53	-0.13
	R ²	0.79	0.72	0.73	X	0.44	< 0.01
BMI	a	0.85	0.42	0.42	0.84	X	0.03
	R ²	0.20	0.05	0.05	0.44	X	< 0.01
Widerristhöhe - Beckenhöhe	a	0.11	0.03	-0.03	< -0.01	< 0.01	X
	R ²	0.02	0.01	0.13	< 0.01	< 0.01	X

Anhang 4: a-Wert und R²-Wert für die Abhängigkeit der einzelnen Parameter voneinander. Eine R²-Wert > 0,5 bedeutet, dass eine gute Korrelation zwischen den zwei Parametern besteht.

Rasse	Vorderbeine	Hinterbeine	Rasse	Vorderbeine	Hinterbeine
	Prozentuale Belastung \pm Standard Fehler	Prozentuale Belastung \pm Standard Fehler		Prozentuale Belastung \pm Standard Fehler	Prozentuale Belastung \pm Standard Fehler
Andere Rassen	61.93 \pm 0.65	38.07 \pm 0.65	Irische Wolfshunde	57.60 \pm 0.68	42.40 \pm 0.66
Barsoi	56.99 \pm 0.90	43.01 \pm 0.90	Labrador	63.54 \pm 0.40	36.46 \pm 0.40
Belgische Schäferhunde	62.10 \pm 0.66	37.90 \pm 0.66	Landseer	63.17 \pm 0.49	36.83 \pm 0.49
BSH	61.47 \pm 0.68	38.53 \pm 0.68	Laufhunde	59.80 \pm 0.97	40.20 \pm 0.97
Bernhardiner	60.84 \pm 1.28	39.16 \pm 1.28	Leonberger	62.09 \pm 0.62	37.91 \pm 0.62
Border Collie	59.37 \pm 0.46	40.63 \pm 0.46	Mischlinge	61.15 \pm 0.54	38.85 \pm 0.54
Dalmatiner	63.14 \pm 1.06	36.86 \pm 1.06	Molosser	62.39 \pm 1.77	37.61 \pm 1.77
Deutsche Dogge	59.62 \pm 0.52	40.38 \pm 0.52	Rhodesian Ridgeback	62.68 \pm 0.79	37.32 \pm 0.79
DSH	61.74 \pm 0.68	38.26 \pm 0.68	Rottweiler	63.63 \pm 0.94	36.37 \pm 0.94
Golden Retriever	61.59 \pm 0.68	38.41 \pm 0.68	SRT	60.83 \pm 0.76	39.17 \pm 0.76

 Fünf maximale Werte
  Fünf minimale Werte



Anhang 5: prozentuale Vorder- und Hinterbeinbelastung in den verschiedenen Rassengruppen. Dunkel- und hellblau werden die fünf maximale bzw. minimale Werte dargestellt.

GKG	Anzahl der Hunde	FzV (% KGW)	FzH (% KGW)	IzV (% KGW x s)	IzH (% KGW x s)
1	10	121.01 ± 2.22	76.95 ± 1.78	15.38	8.37
2	12	117.16 ± 2.60	76.00 ± 1.55	16.27	9.28
3	14	116.28 ± 2.31	70.94 ± 1.17	17.15	9.44
4	17	118.16 ± 2.47	73.61 ± 2.33	17.62	10.27
5	16	117.49 ± 1.92	77.31 ± 1.68	17.51	10.75
6	17	114.80 ± 2.52	67.33 ± 1.13	18.73	10.93
7	11	115.20 ± 3.01	69.89 ± 1.78	17.93	10.80
8	9	105.08 ± 3.63	69.00 ± 2.66	19.59	11.86
9	11	106.37 ± 2.52	71.88 ± 2.57	19.59	11.64
10	12	105.48 ± 1.99	68.46 ± 1.87	20.98	11.86

Anhang 6: Mittelwert der FzV (% KGW), der FzH (% KGW), des IzV (% KGW x s) und des IzH (% KGW x s) mit Standardfehler in den verschiedenen GKG.

Rasse	FzV (% KGW)				FzH (% KGW)			
	Min	Mittel	Max	St.F.	Min	Mittel	Max	St.F.
Andere Rasse	99.79	120.33	131.76	2.73	64.91	74.01	86.58	2.16
Barsoi	105.18	113.59	124.69	3.33	80.86	85.65	95.76	2.25
Belgische Schäferhunde	104.00	118.89	126.46	3.91	66.27	72.48	78.72	2.08
BSH	99.29	111.47	128.23	3.84	62.81	69.86	80.52	2.56
Bernhardiner	101.22	110.48	116.42	2.80	62.76	71.10	75.94	2.44
Border Collie	115.04	115.36	115.71	0.19	76.04	78.96	80.68	1.47
Dalmatiner	120.39	125.90	128.70	1.88	66.39	73.58	79.72	2.79
Deutsche Dogge	88.25	103.10	113.61	2.15	58.86	69.74	76.65	1.38
DSH	112.70	119.51	133.72	4.53	68.96	74.02	79.12	2.64
Golden Retriever	105.01	116.23	133.05	5.41	66.42	72.27	78.69	2.27
Irische Wolfshunde	106.80	113.11	119.38	2.45	74.38	83.30	87.15	2.40
Labrador	115.90	122.49	127.58	3.45	68.44	70.26	73.35	1.55
Landseer	104.01	113.55	122.34	2.42	60.06	66.15	73.77	1.39
Laufhunde	109.48	111.44	112.52	0.98	70.67	74.97	79.21	2.47
Leonberger	95.87	102.29	109.24	2.13	54.02	62.51	68.75	1.83
Mischlinge	105.01	115.62	128.24	1.76	65.74	73.56	83.16	1.76
Molosser	104.80	122.97	134.17	9.17	69.88	73.67	78.39	2.50
Rhodesian Ridgeback	112.31	126.45	142.55	4.50	63.76	75.23	83.20	2.69
Rottweiler	109.53	117.37	124.60	1.81	57.66	67.15	75.76	2.03
SRT	97.03	106.16	115.19	5.24	71.31	68.24	63.80	2.27

Rasse	IzV (% KGW x s)				IzH (% KGW x s)			
	Min	Mittel	Max	St.F.	Min	Mittel	Max	St.F.
Andere Rasse	14.78	17.24	19.89	0.47	7.95	9.42	10.83	0.26
Barsoi	16.20	17.60	18.85	0.36	11.40	12.17	12.49	0.16
Belgische Schäferhunde	13.16	16.63	18.08	0.90	8.86	9.61	9.99	0.21
BSH	15.46	17.53	18.98	0.54	10.36	11.01	11.59	0.18
Bernhardiner	18.31	19.89	20.80	0.66	10.88	11.63	12.61	0.29
Border Collie	14.40	14.82	15.19	0.23	8.50	8.81	9.10	0.17
Dalmatiner	15.54	16.46	17.56	0.54	8.27	8.68	9.61	0.31
Deutsche Dogge	16.58	20.48	23.77	0.38	10.43	11.89	13.24	0.22
DSH	17.20	18.31	19.83	0.57	9.65	10.53	11.38	0.41
Golden Retriever	16.39	17.51	19.38	0.50	9.31	9.71	10.81	0.28
Irische Wolfshunde	16.78	18.33	19.48	0.59	10.73	11.80	12.86	0.37
Labrador	15.83	16.98	18.04	0.64	8.12	8.91	9.42	0.40
Landseer	17.12	19.22	21.23	0.40	10.69	11.41	13.26	0.27
Laufhunde	15.73	16.73	18.25	0.77	8.20	8.77	9.37	0.34
Leonberger	17.96	19.47	21.41	0.42	11.09	11.74	12.85	0.22
Mischlinge	13.96	16.49	19.43	0.39	7.37	9.29	11.27	0.31
Molosser	15.42	17.33	18.48	0.96	9.68	10.16	10.88	0.37
Rhodesian Ridgeback	17.73	19.00	20.03	0.42	9.79	10.27	10.82	0.16
Rottweiler	16.57	17.74	19.68	0.33	9.37	10.25	11.36	0.22
SRT	17.30	17.88	18.36	0.31	10.70	10.93	11.30	0.19

 Fünf maximale Werte
  Fünf minimale Werte

Anhang 7a und 7b: vertikale Bodenreaktionskräfte mit minimalen, mittleren, maximalen Werten und Standard Fehler bei den verschiedene Rassengruppen.

[illegible]

		Andere Rasse	Barsoi	Belgische Schäferhunde	Bernhardiner	Border Collie	BSH	Dalmatiner	Deutsche Dogge	DSH	Golden Retriever	Irische Wolfshunde	Labrador	Landseer	Laufhunde	Leonberger	Mischlinge	Mollosser	Rhodesian Ridgeback	Rottweiler	SRT
Irische Wolfshunde	FzV											X									
	FzH											X									
	IzV											X									
	IzH											X									
Labrador	FzV												X								
	FzH												X								
	IzV												X								
	IzH												X								
Landseer	FzV													X							
	FzH													X							
	IzV													X							
	IzH													X							
Laufhunde	FzV														X						
	FzH														X						
	IzV														X						
	IzH														X						
Leonberger	FzV															X					
	FzH															X					
	IzV															X					
	IzH															X					
Mischlinge	FzV																X				
	FzH																X				
	IzV																X				
	IzH																X				
Mollosser	FzV																	X			
	FzH																	X			
	IzV																	X			
	IzH																	X			
Rhodesian Ridgeback	FzV																		X		
	FzH																		X		
	IzV																		X		
	IzH																		X		
Rottweiler	FzV																			X	
	FzH																			X	
	IzV																			X	
	IzH																			X	
SRT	FzV																				X
	FzH																				X
	IzV																				X
	IzH																				X

Anhang 8: signifikante Unterschiede im Bereich der vertikalen Bodenreaktionskräfte zwischen den Rassen

10. VERDANKUNGEN

Hiermit möchte ich allen, die in irgend einer Weise zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben, ganz herzlich danken, insbesondere:

Frau Dr. Katja Voss für die Überlassung des Themas, die Korrektur des Manuskripts, die fachliche Unterstützung, die englische Übersetzung der Zusammenfassung und alle die Diskussionen, die wieder neue Schritte ermöglicht haben.

Prof. Dr. P.M. Montavon für die kritische Durchsicht der Arbeit, die Übernahme des Referates und für die Möglichkeit, die Kraftmessplatte im Tierspital Zürich benutzen zu dürfen.

Prof. Dr. Hässig für die Unterstützung bei der statistischen Analyse und Interpretation der ermittelten Daten und für die spontane Übernahme des Korreferates.

Den Hundebesitzern, die mir ihre gesunden Hunde zur Verfügung gestellt haben.

Meiner Schwester für ihre ausführliche Unterstützung bei allen Computerproblemen.

Meiner Eltern für die Finanzierung der Ausbildung.

Den Firmen Eukanuba, Hill's, Pedigree und Royal Canine, für die Überlassung von Futter für die Hundebesitzer.

11. LEBENSLAUF

Name	Luca Galeandro
Geburtsdatum	21.09.1981
Geburtsort	Mendrisio (TI)
Nationalität	Schweiz
Heimatort	Aumont (FR)

1987 - 1992	Primarschule Coldrerio
1992 - 1996	Sekundarschule Balerna
1996 - 2000	Gymnasium Mendrisio
2000	Mittelschulabschluss, <i>Maturität Typ C</i>
2000 - 2005	Studium der Veterinärmedizin an der Universität Zürich
2005	Abschlussprüfung an der Universität Zürich
2006	Doktorarbeit in der Veterinär-Chirurgischen Klinik der Universität Zürich, Abteilung Kleintier-Chirurgie
2006 - 2007	Seit November 2006 Assistent in einer privaten Tierpraxis im Oftringen

Datum der Erstellung des Lebenslaufs: Mai, 2007

Abkürzungen

BMI	: Body Mass Index
BSH	: Berner Sennenhunde
DSH	: Deutsche Schäferhunde
F_x	: mediolaterale Bodenreaktionskräfte
F_{xH}	: mediolaterale Bodenreaktionsspitzenkraft im Bereich der Hinterbeine
F_{xV}	: mediolaterale Bodenreaktionsspitzenkraft im Bereich der Vorderbeine
F_y	: kraniokaudale Bodenreaktionskräfte
F_{yH}	: kraniokaudale Bodenreaktionsspitzenkraft im Bereich der Hinterbeine
F_{yV}	: kraniokaudale Bodenreaktionsspitzenkraft im Bereich der Vorderbeine
F_z	: vertikale Bodenreaktionskräfte
F_{zH}	: vertikale Bodenreaktionsspitzenkraft im Bereich der Hinterbeine
F_{zV}	: vertikale Bodenreaktionsspitzenkraft im Bereich der Vorderbeine
GKG	: Gewicht-Kategorie-Gruppen
HD	: Hüftgelenksdysplasie
hl	: hinten links
hr	: hinten rechts
IPH	: Impact Peak im Bereich der Hintergliedmassen
IPHl	: Impact Peak im Bereich der linken Vordergliedmasse
IPHr	: Impact Peak im Bereich der rechten Hintergliedmasse
IPV	: Impact Peak im Bereich der Vordergliedmassen
IPVl	: Impact Peak im Bereich der linken Vordergliedmasse
IPVr	: Impact Peak im Bereich der rechten Vordergliedmasse
I_x	: mediolateraler Impuls
I_y	: kraniokaudaler Impuls
I_z	: vertikaler Impuls
I_{zH}	: vertikaler Impuls im Bereich der Hinterbeine
I_{zV}	: vertikaler Impuls im Bereich der Vorderbeine
KG	: Körpergewicht
m	: männliche Hunde
Max	: Maximum
Min	: Minimum
mk	: männlich-kastrierte Hunde
SI	: Symmetrieindex
SRT	: Schwarze Russische Terrier
vl	: vorne links
vr	: vorne rechts
w	: weibliche Hunde
wk	: weiblich-kastrierte Hunde

12. LITERATURVERZEICHNIS

1. Roy, K.J., *Force, pressure, and motion measurements in the foot: current concepts*. Clin Podiatr Med Surg, 1988. **5**(3): p. 491-508.
2. Winter, D.A., *Moments of force and mechanical power in jogging*. J Biomech, 1983. **16**(1): p. 91-97.
3. Cavanagh, P.R., LaFortune, M.A., *Ground reaction forces in distance running*. J Biomech, 1980. **13**(5): p. 397-406.
4. Dueland, R., D.L. Bartel, and E. Antonson, *Force plate technique for canine gait analysis: preliminary report on total hip and excision arthroplasty [proceedings]*. Bull Hosp Joint Dis, 1977. **38**(1): p. 35-36.
5. Herzog, W., et al., *Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait*. Med Sci Sports Exerc, 1989. **21**(1): p. 110-114.
6. Murray, M.P., Brewer, B.J., Zuege, R.C., *Kinesiologic measurements of functional performance before and after McKee-Farrar total hip replacement. A study of thirty patients with rheumatoid arthritis, osteoarthritis, or avascular necrosis of the femoral head*. J Bone Joint Surg Am, 1972. **54**(2): p. 237-256.
7. Budsberg, S.C., Verstraete, M. C., Soutas-Little, R. W., Flo, G. L., Probst, C. W., *Force plate analyses before and after stabilization of canine stifles for cruciate injury*. Am J Vet Res, 1988. **49**(9): p. 1522-1524.
8. Saleh, M., Murdoch, G. , *In defense of gait analysis*. J Bone Joint Surg [Br], 1985. **67**: p. 237-241.
9. Wingfield, C., Law, H.A.T., Stead, A.C., *Canine kinematic hind leg gait analysis using a microcomputer*. J Small Anim Pract, 1993. **34**: p. 319-324.
10. Goslow, G.E., Seeherman, H.J., Taylor, C.R., McCutchin, M.N., Heglund, N.C., *Electrical activity and relative length changes of dog limb muscles as a function of speed and gait*. Journal of Experimental Biology, 1981. **94**(1): p. 15-42.
11. Manter, J.T., *The dynamics of quadrupedal walking*. J Exp Biol, 1938. **15**: p. 522-540.
12. Andrian, M.J., Roy, W.E., Karpovich, P.V., *Normal gait of the dog: an electrogoniometric study*. Am J Vet Res, 1966. **27**: p. 90-95.
13. Tokuriki, M., *Electromyographic and joint-mechanical studies in quadrupedal locomotion. I. Walk*. Jpn J Vet Sci, 1973. **35**: p. 433-446.
14. Tokuriki, M., *Electromyographic and joint-mechanical studies in quadrupedal locomotion. II. Trot*. Jpn J Vet Sci, 1973. **35**: p. 523-533.
15. Tokuriki, M., *Electromyographic and joint-mechanical studies in quadrupedal locomotion. II. Gallop*. Jpn J Vet Sci, 1974. **36**: p. 121-132.
16. Leach, D.H., *Assessment of bipedal and quadrupedal locomotion*. Vet Comp Orthop Traumatol, 1989. **2**: p. 49-54.
17. Ratzlaff, M.H., *Current methods for the analysis of locomotion and their potential clinical applications*. 34th Ann Conv Am Assoc Equine Pract, San Diego, 1988: p. 99-127.
18. DeCamp, C.E., *Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog*. Vet Clin North Am Small Anim Pract, 1997. **27**(4): p. 825-840.
19. Anderson, M.A., *Force plate analysis: A noninvasive tool for gait evaluation*. The Compendium, 1994. **16**(7): p. 857-867.
20. McLaughlin, R.M., Jr., *Kinetic and kinematic gait analysis in dogs*. Vet Clin North Am Small Anim Pract, 2001. **31**(1): p. 193-201.
21. Budsberg, S.C., Verstraete, M. C., Soutas-Little, R. W., *Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs*. Am J Vet Res, 1987. **48**(6): p. 915-918.
22. Riggs, C.M., et al., *Effects of subject velocity on force plate-measured ground reaction forces in healthy greyhounds at the trot*. Am J Vet Res, 1993. **54**(9): p. 1523-1526.

23. Rumph, P.F., et al., *Ground reaction force profiles from force platform gait analyses of clinically normal mesomorphic dogs at the trot*. Am J Vet Res, 1994. **55**(6): p. 756-761.
24. Rumph, P.F., et al., *Redistribution of vertical ground reaction force in dogs with experimentally induced chronic hindlimb lameness*. Vet Surg, 1995. **24**(5): p. 384-389.
25. Anderson, G.I., Hearn, T., Taves, C., *Force plate gait analysis in normal and dysplastic dogs before and after total hip replacement surgery: An experimental study*. Vet Surg, 1988. **17**: p. 27.
26. Budsberg, S.C., Jevens, D. J., Brown, J., Foutz, T. L., DeCamp, C. E., Reece, L., *Evaluation of limb symmetry indices, using ground reaction forces in healthy dogs*. Am J Vet Res, 1993. **54**(10): p. 1569-1574.
27. Jacobs, N.A., Skorecki, J., Charnley, J., *Analysis of the vertical component of force in normal and pathological gait*. J Biomech, 1972. **5**(1): p. 11-34.
28. Vasseur, P.B., Johnson, A.L., Budsberg, S.C., et al, *Randomized, controlled trial of the efficacy of carprofen, a nonsteroidal anti-inflammatory drug, in the treatment of osteoarthritis in dogs*. J Am Vet Med Assoc, 1995. **206**: p. 807-811.
29. Budsberg, S.C., Verstraete, M. C., Brown, J., Reece, L., *Vertical loading rates in clinically normal dogs at a trot*. Am J Vet Res, 1995. **56**(10): p. 1275-1280.
30. Budsberg, S.C., Chambers, J. N., Lue, S. L., Foutz, T. L., Reece, L., *Prospective evaluation of ground reaction forces in dogs undergoing unilateral total hip replacement*. Am J Vet Res, 1996. **57**(12): p. 1781-1785.
31. Dogan, S., Manley, P.A., Vanderby, R.Jr., Kohles, S.S., Hartman, L.M., McBeath, A.A., *Canine intersegmental hip joint forces and moments before and after cemented total hip replacement*. J Biomech, 1991. **24**(6): p. 397-407.
32. Griffon, D.J., McLaughlin, R.M., Rousch, J.K., *Vertical ground reaction force redistribution during experimentally-induced shoulder lameness in dogs*. Veterinary and comparative Orthopaedics and traumatology, 1994. **7**(4): p. 154-157.
33. Jevens, D.J., et al., *Contributions to variance in force-plate analysis of gait in dogs*. Am J Vet Res, 1993. **54**(4): p. 612-615.
34. Jevens, D.J., et al., *Use of force-plate analysis of gait to compare two surgical techniques for treatment of cranial cruciate ligament rupture in dogs*. Am J Vet Res, 1996. **57**(3): p. 389-393.
35. McLaughlin, R.M., Jr., et al., *Force plate analysis of triple pelvic osteotomy for the treatment of canine hip dysplasia*. Vet Surg, 1991. **20**(5): p. 291-297.
36. O'Connor, B.L., et al., *Gait alterations in dogs after transection of the anterior cruciate ligament*. Arthritis Rheum, 1989. **32**(9): p. 1142-1147.
37. Schryver, H.F., Bartel, D.L., Langrana, N., et al., *Locomotion in the horse: kinematics and external and internal forces in the normal equine gait analysis*. Am J Vet Res, 1978. **39**: p. 1728-1733.
38. Steiss, J.E., Yuill, G.T., White, N.A., Bowen, J.M., *Modifications of a force plate system for equine gait analysis*. Am J Vet Res, 1982. **43**(3): p. 538-540.
39. Pratt, G.W.J., O'Connor, J.T.Jr., *Force plate studies of equine biomechanics*. Am J Vet Res, 1976. **37**(11): p. 1251-1255.
40. Imhof, J., Voss, K., Montavon, P.M., *Tibial tuberosity advancement (TTA) for treatment of cranial cruciate disease in dogs: Evaluation using force plate gait analysis*. Poster 14th Annual Scientific Meeting of the ECVS, Lyon, 2005.
41. Imhof, J., Voss, K., Kästner, S., Montavon, P.M., *Force plate gait analysis at walking and trotting velocity in dogs with low-grade hind limb lameness*. Poster World Orthopedic Meeting, Keystone, Colorado, 2006.
42. Leach, D., *Locomotion Analysis*. p. 1112-1118.
43. Hutton, W.C., M.A. Freeman, and S.A. Swanson, *The forces exerted by the pads of the walking dog*. J Small Anim Pract, 1969. **10**(2): p. 71-77.
44. Barclay, O.R., *Some aspects of the mechanics of mammalian locomotion*. J. Exp. Biol., 1953. **30**: p. 116.

45. Roy, W.E., *Examination of the canine locomotor system*. Vet Clin North Am, 1971. **1**(1): p. 53-70.
46. Merkens, H.W., Schamhardt, H.C., *Relationships between ground reaction force patterns and kinematics in the walking and trotting horse*. 2nd Int Workshop Anim Locomotion, 1993. **2**: p. 30.
47. Budsberg, S.C., Rytz, U., Johnston, S.A., *Effects of acceleration on ground reaction forces collected in healthy dogs at a trot*. Vet Comp Orthop Traumatol, 1999(12): p. 15-19.
48. McLaughlin, R.J., Roush, J.K., *A comparison of two surgical approaches to the scapulohumeral joint in dogs*. Vet Surg, 1995. **24**(3): p. 207-214.
49. Silver, I.A., Brown, P.N., Goodship, A.E., Lanyon, L.E., McCullagh, K.G., Perry, G.C., Williams, I.F., *A clinical and experimental study of tendon injury, healing and treatment in the horse*. Equine Vet J Suppl, 1983(1): p. 1-43.
50. Chao, E.Y., Laughman, R.K., Schneider, E., Stauffer, R.N., *Normative data of knee joint motion and ground reaction forces in adult level walking*. J Biomech, 1983. **16**(3): p. 219-233.
51. Off, W., Matis, U., *Ganganalyse beim Hund*. Tierärztliche Praxis. Vol. 25. 1997: F.K. Schattauer Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart-New York. 8-14.
52. Rumph, P.F., et al., *Vertical ground reaction force distribution during experimentally induced acute synovitis in dogs*. Am J Vet Res, 1993. **54**(3): p. 365-369.
53. Allen, K., De Camp C.E., Braden T.D., et al., *Kinematic gait analysis of the trot in healthy mixed breed dogs*. Vet Comp Orthop Traumatol, 1994. **7**: p. 148-153.
54. Renberg, W.C., et al., *Comparison of stance time and velocity as control variables in force plate analysis of dogs*. Am J Vet Res, 1999. **60**(7): p. 814-819.
55. Yanoff, S.R., Hulse, D.A., Hogan, H.A., *Measurements of vertical ground reaction force in jumping dogs*. Vet Comp Orthop Traumatol, 1992. **5**: p. 44-50.
56. Roush, J.K. and R.M. McLaughlin, Jr., *Effects of subject stance time and velocity on ground reaction forces in clinically normal greyhounds at the walk*. Am J Vet Res, 1994. **55**(12): p. 1672-1676.
57. DeCamp, C.E., et al., *Kinematic gait analysis of the trot in healthy greyhounds*. Am J Vet Res, 1993. **54**(4): p. 627-634.
58. McLaughlin, R.M., Jr. and J.K. Roush, *Effects of subject stance time and velocity on ground reaction forces in clinically normal greyhounds at the trot*. Am J Vet Res, 1994. **55**(12): p. 1666-1671.
59. Rumph, P.F., J.E. Steiss, and R.D. Montgomery, *Effects of selection and habituation on vertical ground reaction force in greyhounds*. Am J Vet Res, 1997. **58**(11): p. 1206-1208.
60. Hottinger, H.A., et al., *Noninvasive kinematic analysis of the walk in healthy large-breed dogs*. Am J Vet Res, 1996. **57**(3): p. 381-388.
61. Schaefer, S.L., DeCamp, C.E., Hauptman, J.G., et al., *Use of kinematic gait analysis to evaluate hind limb symmetry of the trot in healthy dogs*. Vet Surg, 1996. **25**: p. 437.
62. Bertram, J.E.A., Lee, D.V., Todhunter, R.J., Foels, W.S., Williams, A.J., Lust, G., *Multiple force platform analysis of the canine trot: a new approach to assessing basic characteristics of locomotion*. Vet Comp Orthop Traumatol, 1997(10): p. 160-169.
63. Jarrett, M.O., Moore, P.R., Swanson, A.J., *Assessment of gait using components of the ground reaction force vector*. Med Biol Eng Comput, 1980. **18**(5): p. 685-688.
64. McLaughlin, R., Jr. and J.K. Roush, *Effects of increasing velocity on braking and propulsion times during force plate gait analysis in greyhounds*. Am J Vet Res, 1995. **56**(2): p. 159-161.
65. Bockstahler, B.A., Skalicky, M., Peham, C., Müller, M., Lorinson, D., *Reliability of ground reaction forces measured on a treadmill system in healthy dogs*. Veterinary Journal, 2005.
66. Rumph, P.F., J.E. Steiss, and M.S. West, *Interday variation in vertical ground reaction force in clinically normal Greyhounds at the trot*. Am J Vet Res, 1999. **60**(6): p. 679-683.
67. Evans, R., *Force platform gait analysis discriminates lame and normal dogs*. in ACVS Abstracts, 2005: p. 7.

68. Schatzker, J., Anderson, G., Sumner-Smith, G., Hearn, T., Fornasier, V. , *An experimental investigation in the dog into the mode of osseous integration of total joint implants*. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery 1989. **108**(3): p. 132-140.
69. Kosfeld, H.U., *Der totale Hüftgelenkersatz beim Hund. Klinische, röntgenologische und ganganalytische Erhebungen in den Jahren 1983 bis 1993*. Diss med vet, München 1996.
70. Mann, F.A., Tagner, C.H., Wagner-Mann, C., et al., *A comparison of standard femoral head and neck excision using a biceps femoris muscle flap in the dog*. Vet Surg, 1987. **16**: p. 223-230.
71. Oakley, R.E., DeCamp, C.E., Soutas-Little, R.W., et al *Kinematic evaluation of two extracapsular surgical techniques for the treatment of cranial cruciate ligament rupture in dogs*. Vet Surg, 1995. **25**: p. 435.
72. Off, W., *Klinische und ganganalytische Erhebungen zur Resektionsarthroplastik des Hüftgelenks bei Hund und Katze in den Jahren 1978 bis 1989*. Diss med vet, München, 1993.
73. Person, M.W., *Arthroscopic treatment of osteochondritis dissecans in the canine shoulder*. Vet Surg, 1989. **18**(3): p. 175-189.
74. Theyse, L.F.H., Hazewinkel, H.A.W., Van der Brom, W.E. (2000): , *Force plate analyses before and after surgical treatment of unilateral fragmented coronoid process*. Vet Comp Orthop Traumatol, 2000. **13**: p. 135-140.
75. Manley, P.A., Vanderby, R., Dogan, S., Kohles, S.S., McBeath, A.A. , *Ground reaction force comparison of canine cemented and cementless total hip replacement*. Clinical Biomechanics, 1990. **5**(4): p. 199-204.
76. Bennett, R.L., DeCamp, C. E., Flo, G. L., Hauptman, J. G., Stajich, M., *Kinematic gait analysis in dogs with hip dysplasia*. Am J Vet Res, 1996. **57**(7): p. 966-971.
77. Conzemius, M.G. *The effect of surgical technique on limb function after surgery for cranial cruciate ligament disease in the labrador retriever*. in *1st World Orthopaedic Veterinary Congress*. 2002. Munich.
78. Conzemius, M.G., et al., *Effect of surgical technique on limb function after surgery for rupture of the cranial cruciate ligament in dogs*. J Am Vet Med Assoc, 2005. **226**(2): p. 232-236.
79. Ballagas, A.J., et al., *Pre- and postoperative force plate analysis of dogs with experimentally transected cranial cruciate ligaments treated using tibial plateau leveling osteotomy*. Vet Surg, 2004. **33**: p. 187-190.
80. Unkel-Mohrmann, F., *Das ganganalytische Profil des Deutschen Schäferhundes*. Diss med vet, München, 1999.
81. Bryant, J.D., Bennet, M.B., Brust, J., Alexander, R.M., *Forces exerted on the ground by galloping dogs (Canis familiaris)*. J Zool, 1987. **213**: p. 193-203.